

SÉRIE A, N° 1225.

N° D'ORDRE :

2093

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Georges SIMON

Professeur agrégé de Physique au Lycée de Dijon,
Ancien Boursier d'Études au Laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES PRÉLIMINAIRES SUR LA PRODUCTION
DE RÉSEAUX DE DIFFRACTION PAR LA PHOTO-
GRAPHIE DE FRANGES D'INTERFÉRENCE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

21 DE 1929
Soutenues le 21 décembre 1929 devant la Commission d'examen.

MM. COTTON..... *Président.*

FABRY.....
MOUTON..... } *Examineurs.*

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1929

SÉRIE A, N° 1225

N° D'ORDRE :

2093

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Georges SIMON

Professeur agrégé de Physique au Lycée de Dijon,
Ancien Boursier d'Études au Laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES PRÉLIMINAIRES SUR LA PRODUCTION
DE RÉSEAUX DE DIFFRACTION PAR LA PHOTO-
GRAPHIE DE FRANGES D'INTERFÉRENCE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

21 DEC 1929

Soutenues le Décembre 1929 devant la Commission d'examen.

MM. COTTON..... *Président.*

FABRY.....
MOUTON..... } *Examineurs.*

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1929

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen..... C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

Doyens honoraires.. P. APPELL, M. MOLLIARD.

Profess. honoraires.. { A. JOANNIS. A. LEDUC.
H. LE CHATELIER. R. DONGIER.
H. LEBESGUE. E. HEROUARD.
A. FERNBACH.

<i>Professeurs</i>	ÉMILE PICARD.....	Analyse supér. et algèbre supérieure.
	G. KOENIGS.....	Mécanique physique et expérimentale
	E. GOURSAT.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	P. JANET.....	Electrotechnique générale.
	F. WALLERANT...	Minéralogie.
	P. PAINLEVÉ.....	Mécanique anal. et mécanique céleste
	GABRIEL BERTRAND	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale et radioactivité.
	M. CAULLERY.....	Zoologie (Evolution des êtres organisés)
	G. URBAIN.....	Chimie générale.
	ÉMILE BOREL.....	Calcul des probabilités et phys. mathém.
	L. MARCHIS.....	Aviation.
	JEAN PERRIN.....	Chimie physique.
	RÉMY PERRIER.....	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	H. ABRAHAM.....	Physique.
	M. MOLLIARD.....	Physiologie végétale.
	E. CARTAN.....	Géométrie supérieure.
	L. LAPICQUE.....	Physiologie générale.
	E. VESSIOT.....	Théorie des fonct. et th. des transf.
	A. COTTON.....	Physique générale.
	J. DRACH.....	Application de l'analyse à la géométrie
	CHARLES FABRY...	Physique.
	CHARLES PÉREZ...	Zoologie.
	LÉON BERTRAND...	Géolog. structurale et géolog. appliquée
	R. LESPIEAU.....	Théories chimiques.
E. RABAUD.....	Biologie expérimentale.	
P. PORTIER.....	Physiologie comparée.	
E. BLAISE.....	Chimie organique.	
P.-A. DANGEARD..	Botanique.	
P. MONTEL.....	Mécanique rationnelle.	
P. WINTREBERT..	Anatomie et histologie comparées	
O. DUBOSQ.....	Biologie maritime.	
G. JULIA.....	Mathématiques générales.	
A. MAILHE.....	Etude des combustibles.	
L. LUTAUD.....	Géogr. physique et géol. dynamique.	
EUGÈNE BLOCH....	Physique théorique et phys. céleste.	
HENRI VILLAT....	Mécanique des fluides et applications.	
CH. JACOB.....	Géologie.	
P. PASCAL.....	Chimie minérale.	
LÉON BRILLOUIN..	Théories physiques.	
V. AUGER.....	Chimie appliquée.	
N.....	Astronomie.	



E. PÉCHARD....	Chimie (Ens. P. C. N.).	L. JOLEAUD.....	Paléontologie.
M. GUICHARD...	Chimie minérale.	M. JAVILLIER....	Chimie biologique.
A. GUILLET....	Physique.	A. DUFOUR.....	Physique (P. C. N.).
G. MAUGUIN....	Minéralogie.	F. PICARD.....	Zoologie (Evolution des êtres organisés).
L. BLARINGHEM	Botanique.		
A. MICHEL-LÉVY	Pétrographie.	ROBERT-LÉVY...	Zoologie.
A. DEREIMS....	Géologie.	L. DUNOYER.....	Optique appliquée.
A. DENJOY.....	Calcul diff. et int.	A. GUILLIERMOND	Botanique (P. C. N.).
H. BENARD....	Physique (P. C. N.).	A. DEBIERNE....	Radioactivité.
E. DARMOIS....	Physique.	M. FRECHET.....	Calcul des probabilités et phys. mathém.
G. BRUHAT....	Physique.		
H. MOUTON....	Chimie physique.		

Secrétaire..... A. PACAUD

A MONSIEUR COTTON

Directeur du Laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne,
Membre de l'Institut.

Hommage respectueux de reconnaissance.

RECHERCHES PRÉLIMINAIRES SUR LA PRODUCTION DE RÉSEAUX DE DIF- FRACTION PAR LA PHOTOGRAPHIE DE FRANGES D'INTERFÉRENCE.

Par GEORGES SIMON

Professeur agrégé de physique,
ancien Boursier d'Études au Laboratoire des Recherches Physiques à la Sorbonne.

INTRODUCTION

Le présent travail paraîtra manquer d'unité, cependant le défaut est plus apparent que réel.

Le but visé était l'obtention de réseaux de grandes dimensions ne donnant qu'un seul ordre de spectre. Le principe de tels réseaux avait été indiqué depuis longtemps par Cotton ⁽¹⁾ qui utilisait des photographies de franges. Les recherches exposées ci-dessous ont consisté surtout à « déblayer le terrain » pour des entreprises plus importantes.

Le procédé photographique employé a été le procédé de Daguerre : il permet de fabriquer facilement ses plaques soi-même, d'autre part, il fournit immédiatement des réseaux par réflexion.

Le chapitre premier donne succinctement quelques détails techniques sur l'argenture des glaces, le polissage, la préparation de la plaque par l'action de l'iode et du brome, la sensibilité de la plaque aux différentes longueurs d'onde.

⁽¹⁾ COTTON, *C. R. des séances de la Société française de physique* (1901), p. 38.

La photographie permet d'obtenir une réplique d'un réseau donné. Pour avoir une plus grande surface rayée, il vient immédiatement à l'esprit de juxtaposer, sur une même plaque, plusieurs répliques d'un même réseau. Ces répliques doivent être très exactement raccordées. Il fallait donc disposer d'une méthode précise de mesure des déplacements : les méthodes interférométriques ont paru indiquées ici.

Au cours des essais on a passé en revue ces méthodes, on a apporté une modification au dispositif généralement utilisé pour former les franges de superposition, on a obtenu ces franges sous la forme de très beaux anneaux ; l'emploi généralisé du spectroscope dans les réglages a donné de bons résultats et l'appareil utilisé a fourni incidemment une méthode d'étude des indices des corps transparents. Toutes ces recherches font l'objet du chapitre II.

Le chapitre III est consacré à la description de l'interféromètre utilisé, conçu d'après les « principes géométriques » indiqués par Pollar ⁽¹⁾ ; à l'installation générale des appareils et aux réglages interférométriques.

Au chapitre IV, on a étudié, théoriquement, d'après Lord Rayleigh ⁽²⁾, les différents aspects que peut prendre la photographie d'un réseau gravé sur verre, obtenue, soit avec un objectif, soit par contact direct sans objectif. Vérifié expérimentalement, le résultat de cette étude s'est trouvé d'accord avec la théorie des réseaux simples de Porter ⁽³⁾. La mauvaise qualité du réseau dont on disposait a nécessité quelques recherches sur ses propriétés, de manière à en déterminer une zone convenable.

Le chapitre V traite le problème fondamental de la juxtaposition de deux répliques sur la même plaque photographique, problème double comprenant l'obtention de l'épreuve

(1) POLLAR, *Revue d'optique*, t. 2 (1922), pp. 8, 181, 317.

(2) LORD RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, XLVII (1874), pp. 81-93-193-205. *Œuvres complètes*, vol. I, p. 199.

(3) PORTER, *Phil. Mag.* XI (1906), p. 154.

et la vérification de l'exactitude du raccord, et se termine par l'examen, tout au moins théorique, du cas d'un grand nombre de juxtapositions.

Au chapitre VI il est question des réseaux de franges ; les propriétés de semblables réseaux sont étudiées ainsi que les diverses manières de les obtenir ; en particulier la manière de réaliser un réseau de grandes dimensions par juxtaposition correcte d'un assez grand nombre d'éléments obtenus par la photographie directe des franges d'un seul miroir, le procédé employé étant une application des résultats indiqués au chapitre précédent.

Ce travail a été fait au Laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne, sous la direction de M. le professeur Cotton à qui j'exprime toute ma gratitude. Je remercie aussi M. le professeur Fabry qui a bien voulu s'intéresser à mes recherches et mettre à ma disposition l'un de ses interféromètres. Je veux également témoigner ici ma reconnaissance à MM. Lambert et de Watteville qui m'ont fait profiter de toute leur expérience et dont les conseils m'ont été très précieux.

Enfin, je remercie cordialement tout le personnel du Laboratoire des Recherches physiques, en particulier M. Andant, assistant, qui m'a donné au sujet de la pulvérisation de cathode, les indications les plus utiles.

CHAPITRE PREMIER

Procédé photographique de Daguerre.

Le procédé photographique utilisé était le procédé de Daguerre : ce procédé permet de préparer rapidement des plaques sensibles sur tel support que l'on désire et l'épreuve obtenue fournit immédiatement un réseau par réflexion.

Je donnerai d'abord quelques indications sur ce procédé si intéressant à nombre de points de vue.

Comme on le sait, dans le procédé de Daguerre, la couche sensible est constituée par une mince pellicule d'iodure d'argent produite directement à la surface d'une lame d'argent par l'action de l'iode en vapeurs.

Dans le daguerréotype classique, la couche d'argent était constituée par du doublé mince ; depuis Draper (1864) on a également utilisé du verre argenté. On argentait le verre, soit directement par procédé chimique, soit, mieux encore en le platinant d'abord et l'argentant ensuite électrolytiquement ; c'est qu'en effet, l'argenteure chimique ne résiste pas toujours aux traitements que l'on peut être amené à faire subir à la plaque impressionnée.

Dans le fixage, en particulier, et surtout dans le virage, il arrive très souvent que la couche d'argent se craquèle dans toute l'étendue de la plaque et se détache par écailles du support de verre.

Il faut, avant tout, que l'argenteure soit très adhérente et également très homogène.

Argenteure. — Parmi les divers procédés d'argenteure préconisés, celui qui m'a donné les résultats les plus constants,

consiste à utiliser comme réducteur de l'azotate d'argent, une solution de glucose. Quelques détails pratiques et quelques chiffres suffiront à préciser la méthode.

On dissout, par exemple, 20 g. d'azotate d'argent dans un litre d'eau, on fait tomber lentement, en agitant, une solution d'ammoniac jusqu'à redissolution du précipité formé (soit, à titre d'indication, 23 cm³ de solution à 22° Baumé) on continue ensuite d'ajouter un excès d'ammoniaque, par exemple la moitié de la première quantité (soit 11 cm³, 5). On obtient ainsi une solution de nitrate d'argent-ammonium dans un excès d'ammoniaque.

Cette solution n'est pas réductible par le glucose, mais si on lui ajoute de la potasse, celle-ci met en liberté l'oxyde d'argent-ammonium qui se dissout dans l'excès d'ammoniaque et la solution obtenue est facilement réduite par le glucose. Celui-ci est employé en solution dans l'eau à 5 o/o, on peut conserver la solution en lui ajoutant quelques gouttes d'alcool ou mieux de formol. La potasse est utilisée en solution à 7,5 o/o : il est préférable d'employer la potasse sans chlorure (potasse Merck).

Une expérience préalable permet de déterminer la quantité de potasse qui doit être ajoutée ; la solution est placée dans une burette graduée et on la fait tomber goutte à goutte, dans le mélange de glucose et de solution d'argent contenu dans une petite capsule de porcelaine. Si la quantité de potasse est suffisante, le liquide devient rose, puis violacé ; en même temps, en agitant légèrement la capsule, on voit les parois se recouvrir d'un dépôt d'abord rosé, puis gris, puis enfin blanc brillant, ce dépôt est très adhérent et peut être vigoureusement frotté avec le doigt sans être endommagé.

Si la quantité de potasse est insuffisante, le liquide devient boueux et brunâtre, le dépôt est léger et peu adhérent.

Voici, à titre d'indication, les quantités employées pour une lame de verre 6 × 8 cm. : liqueur d'argent, 20 cm³ ; glucose à 5 o/o, 10 cm³ ; potasse à 7,5 o/o, 4 cm³, 5.

L'argenture était faite par-dessous : pour cela, la lame était fixée par sa face supérieure à une tige de verre aplatie à une extrémité et enduite de glu marine ou de gutta-percha ; de cette façon, on peut procéder très aisément au lavage en tenant la lame par l'intermédiaire de la tige de verre ; d'autre part, ce dispositif permet de laisser la lame dans le bain d'argenture, pour ainsi dire indéfiniment, sans danger pour le résultat, les gros grains se déposant surtout dans le fond de la cuvette. Cependant, il peut se former, à la longue, à la surface de la couche d'argent un voile blanchâtre dû aux grains déposés, mais ce voile disparaît facilement au polissage.

Pour obtenir une argenture adhérente et homogène, le nettoyage de la plaque de verre doit être fait avec soin ; pour les lames de verre ordinaire, j'utilisais la « terre pourrie » des droguistes qu'employaient les anciens photographes ; en l'humectant d'une solution de potasse et d'alcool, on forme une pâte qu'on étend sur la lame en frottant avec un tampon de coton hydrophile, on rince à l'eau du robinet, puis à l'eau distillée, on obtient ainsi une surface parfaitement mouillée par l'eau dans toute son étendue.

Il faut avoir soin, au moment où l'on plonge la lame à argenter dans le bain, de ne pas laisser l'eau adhérent à la surface s'accumuler en un coin de la lame, sinon, à cet endroit, la liqueur serait diluée, l'argenture plus légère.

Si la lame de verre a déjà été argentée, la couche primitive d'argent doit être enlevée avec soin à l'aide d'une solution d'acide azotique concentré ; si la plaque a déjà été utilisée comme plaque de Daguerre, il arrive fréquemment qu'une argenture ultérieure reproduise les contours de l'image ancienne ; ce fait curieux est à rapprocher d'un fait signalé par M. Lambert : l'argenture se fait plus facilement si le verre a été fortement éclairé ; la surface du verre est donc une surface sensible pour laquelle l'argenture peut servir de révélateur. Il est bon, lorsqu'une image ancienne réapparaît, de

laisser la surface du verre assez longtemps en contact avec de l'ammoniaque. On peut aussi « mordancer » cette surface ; pour cela, on utilise le chlorure stanneux (déjà indiqué par Namias en 1897), puis par Lemoine et Ranc ⁽¹⁾.

J'ai employé le chlorure obtenu en laissant longtemps en contact des feuilles d'étain et de l'acide chlorhydrique, on mélange ce chlorure à de la potée d'étain et on frotte bien uniformément la surface du verre avec cette bouillie, on lave sous le robinet de façon à ce qu'il ne reste plus de trace de réducteur (ce qui amènerait infailliblement des taches brunes dans l'argenture) et on immerge dans le bain.

La surface argentée est lavée sous le robinet puis rincée à l'eau distillée, séchée en appliquant sur elle plusieurs épaisseurs de papier Joseph et polie immédiatement.

Pour ce polissage, on étend, au moyen d'une brosse dure, un peu de rouge très fin sur un tampon de peau de chamois humecté de quelques gouttes de benzine (ou mieux de benzine contenant un peu de térébenthine en solution) : on enlève ainsi aisément la couche blanchâtre et on obtient une belle surface réfléchissante, on polit ensuite avec une peau douce et un peu de rouge sec jusqu'à ce que l'haleine se dépose uniformément sur toute la plaque.

L'argenture ainsi obtenue est bien adhérente et donne une couche de métal dur, résistant bien à un polissage même énergétique (rouge et essence de térébenthine, polissoir rotatif).

Comme dans tous les procédés, on peut superposer plusieurs couches d'argent ; au contraire, en diluant et diminuant la durée du dépôt on peut obtenir des demi-argentures destinés par exemple aux glaces d'interféromètres.

On peut également utiliser pour la daguerréotypie des plaques argentées par pulvérisation de cathode : celles-ci ont immédiatement un beau poli et sont bien homogènes, mais

(1) LEMOINE et RANQUE, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 1922-1923, p. 214.

elles ne supportent pas le fixage : elles peuvent néanmoins rendre de grands services pour obtenir des épreuves destinées à la reproduction par contact.

Préparation de la couche sensible. — La plaque d'argent soigneusement polie doit être exposée aux vapeurs d'iode. Pour tamiser les vapeurs et les répartir uniformément, j'ai constitué la cuvette à iode de la façon suivante :

Sur le fond d'une cuvette photographique 9×12 en verre, à bords rodés, on place une couche d'iode pulvérisé au mortier, celle-ci est recouverte d'une plaque de plâtre de 2 cm. d'épaisseur obtenue par moulage sur la cuvette elle-même : la plaque a été soigneusement séchée et collée à la paraffine ; la cuvette est habituellement fermée par une lame de verre.

Pour que l'iodage de la plaque d'argent soit uniforme, il faut que celle-ci soit bien parallèle à la surface du diffuseur en plâtre.

On observe cependant que les bords sont toujours plus iodés que le centre de sorte que, si l'action se prolonge, on obtient sur les bords une teinte différente de celle du centre et par conséquent une différence de sensibilité. On peut remédier à cet inconvénient en utilisant un anneau de garde formé d'une mince lame d'argent, percée d'un trou en son centre, sur laquelle repose la lame à ioder : la zone centrale ainsi isolée est iodée uniformément, même si l'exposition aux vapeurs d'iode est assez longue.

La plaque et son anneau de garde reposent sur des cales de verre de même épaisseur (8 mm.) qui les placent parallèlement au diffuseur,

Si la couche d'argent n'est pas parfaitement uniforme, l'action de l'iode marque toutes les hétérogénéités : aussi le poli doit-il être très soigné. Il arrive très souvent, lorsqu'on utilise plusieurs fois le même support d'argent, que l'iode révèle les anciennes images, même après un polissage soi-

gné; l'iode révèle de même les points de la plaque qui ont été soumis à un éclaircissement intense.

Enfin il y a lieu de tenir compte dans l'action de l'iode des variations possibles de température : si l'on veut obtenir des résultats constants il est préférable de placer la cuvette à iode dans une cave à température peu variable.

On sait, depuis Fizeau, que la sensibilité des plaques iodées est accrue dans des proportions considérables si on les expose aux vapeurs de brome; le dispositif utilisé était celui-même de Fizeau et Foucault : une cuvette de verre est portée par un trépied à vis calantes, la plaque peut être ainsi rendue parallèle à la surface du liquide; celui-ci est simplement une solution de brome dans l'eau obtenue en diluant 20 cm³ de solution saturée dans un litre d'eau. On verse 30 cm³ de liqueur dans la cuvette et on attend une minute avant de faire glisser le couvercle et découvrir ainsi la plaque à bromer.

Révélateurs de l'image daguerrienne. — Depuis Daguerre, le révélateur employé est la vapeur de mercure, celle-ci se fixe d'abord sur les clairs de l'image, leur donnant ainsi une apparence blanchâtre par diffusion; l'opération se fait dans la classique boîte à mercure que l'on construit, très simplement, au moyen d'une petite caisse en bois dont le fond en fer porte une capsule de porcelaine contenant le mercure, celui-ci est maintenu à 65-70°; au bout de quelques minutes, l'image apparaît.

Le mercure n'est pas le seul métal dont les vapeurs révèlent l'image daguerrienne; Kalæhne et Federlin⁽¹⁾ ont montré qu'on pouvait utiliser les vapeurs du cadmium chauffé à 120-150°, le métal se dépose en brun sur les clairs de l'image.

On peut également révéler les plaques par voie humide en

⁽¹⁾ KALÆHNE und FEDERLIN, *Verh. d. D. Physik. Ges.*, t. 16 (1914), p. 931.

employant un révélateur « physique » des photographes (par exemple une solution d' AzO_3Ag à 3 o/o additionnée de paraphénylène diamine en solution sulfitique, formule de l'agenda Lumière) l'argent se dépose aux endroits éclairés.

Somme toute, il semble qu'un métal très divisé peut servir de révélateur ; ceci m'a conduit à chercher si les particules très petites, obtenues par pulvérisation de cathode, seraient, elles aussi, propres à révéler l'image daguerrienne : on peut, en effet, développer l'image par pulvérisation d'une cathode de cuivre amalgamé, le développement est incomparablement plus rapide (une fraction de seconde) qu'à la boîte à mercure. Une cathode de cuivre a révélé également l'image d'une plaque de Daguerre ; mais des essais faits avec une cathode d'or ont donné un résultat négatif.

On peut encore faire apparaître l'image par d'autres procédés :

les révélateurs photographiques ordinaires comme le pyrogallol donnent de faibles images négatives.

Une plaque simplement iodée et exposée pendant un temps suffisant peut être révélée en la soumettant à l'action de rayons auxquels elle n'était pas sensible avant l'exposition (rayons continuateurs de Gaudin et Becquerel), ainsi une plaque iodée, fortement exposée, peut être révélée par la lumière verte et jaune d'une lampe à mercure intense.

Une plaque qui a reçu une exposition suffisante peut être révélée par électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre, par exemple ; mais si l'exposition a été insuffisante, cette méthode ne donne pas de résultats.

Il faut enfin ajouter la formation directe d'image obtenue par décomposition visible de l'iodure au moyen d'une pose prolongée.

Ces derniers modes de développement paraissent liés à une modification plus profonde de l'iodure : ils ne réussissent qu'avec des poses notablement plus longues que celles qui

suffisent avec les premiers procédés et cependant ils ne fournissent qu'une image faible.

Fixage des plaques. — Pour dissoudre l'iodure et le bromure d'argent en excès, on peut employer l'hyposulfite à 10 ou 20 o/o, ce traitement provoque quelquefois le décollement de l'argenture, il est bon d'ajouter de l'alcool à la solution. On recouvre la plaque de la solution ; après fixage, on lave rapidement à l'eau distillée et on sèche à l'alcool : en procédant ainsi, on évite les taches qui se produisent fréquemment lorsqu'on laisse évaporer l'eau de lavage. Il est à remarquer que les images développées par rayons continuaturs disparaissent au fixage.

Virage. — Il ne m'a pas été possible d'appliquer le virage aux plaques de verre argenté, le procédé au chlorure d'or additionné d'hyposulfite, qui donne de beaux résultats sur les plaques de doublé, provoquait infailliblement le décollement de la couche d'argent.

Sensibilité de la plaque de Daguerre. — Elle dépend de la longueur d'onde de la lumière utilisée et de l'épaisseur de la couche d'iodure (celle-ci est évaluée d'après la couleur de la lame mince qu'elle forme).

Si on juxtapose sur une plaque les photographies du spectre d'une lampe Nernst donné par un prisme en flint, et prises pendant des temps décroissants (1 min. à 15 sec.) on remarque, après développement au mercure, que la longueur d'onde correspondant au maximum d'impression ne change pas d'une façon appréciable si on modifie l'iodage de la plaque ; cette longueur d'onde est située dans le violet, au voisinage des raies 427 et 421 m μ du fer, c'est-à-dire dans une région spectrale où l'iodure d'argent est très absorbant ⁽¹⁾.

(1) SCHUTZ-SELLACK, *Ann. der Phys.*, 143 (1871), p. 166.

Cette expérience peut être étendue en exposant, dans un spectrographe de quartz, une plaque de Daguerre au spectre d'une étincelle éclatant entre des électrodes d'aluminium placées dans l'eau, la plaque est impressionnée par les radiations ultra-violettes et paraît présenter un maximum d'impression pour une longueur d'onde voisine de $320\text{ m}\mu$ ⁽¹⁾.

Enfin les rayons X agissent sur les plaques de Daguerre, l'image se révèle par les méthodes exposées précédemment.

Dans la deuxième partie de ce travail, où l'on avait à photographier des franges d'interférence, il y aurait eu avantage à utiliser une radiation monochromatique violette, mais comme de telles radiations, d'intensité convenable, sont difficiles à obtenir, on a employé la lumière indigo du mercure ($436\text{ m}\mu$); il était alors d'un grand intérêt afin de diminuer la durée de pose, d'obtenir la sensibilité la plus grande possible pour cette radiation.

Scholl ⁽²⁾ a précisément étudié la sensibilité des plaques de Daguerre aux longueurs d'onde comprises dans la région bleu-bleu verdâtre pour lesquelles l'iodure d'argent n'est pas aussi absorbant que pour le violet, il a montré que la plaque présente la sensibilité maxima à l'une de ces radiations quand l'épaisseur de la couche d'iodure est telle, qu'éclairée au moyen de cette même radiation, sa surface paraisse noire, c'est-à-dire quand la surface libre de l'iodure est un ventre dans le système d'ondes stationnaires produit dans l'iodure par la lumière incidente et la lumière réfléchie par l'argent.

On peut préparer une couche d'iodure d'argent dont l'épaisseur varie d'une manière continue, en déplaçant une lame de verre argentée au-dessus d'une cuvette contenant de l'iode, la lame est fixée à un chariot qui se déplace d'un mou-

⁽¹⁾ Il faudrait vérifier si ce maximum tient à la plaque elle-même ou à la source utilisée.

⁽²⁾ SCHOLL, *Ann. der Phys.*, 68 (1899), p. 149.

vement uniforme, le « coin » d'iodure peut être aussi aigu que l'on veut : en même temps, on peut obtenir par ce procédé une indication de la durée d'iodage correspondant à une teinte donnée de la couche.

Le coin montre, en lumière indigo du mercure, de larges franges noires qui correspondent à une teinte jaune d'or très légèrement verdâtre. Si on expose le coin à la lumière indigo du mercure (en absorbant le violet par le sulfate de quinine), on observe, en effet, après développement, que le dépôt de mercure se fait précisément à l'emplacement qu'occupaient les franges noires.

La sensibilité dépend ensuite de la durée d'exposition au brome ; pour chercher la durée la plus favorable, il n'était pas possible d'utiliser le même dispositif que pour l'iodage, le brome de l'eau de brome est trop volatil et de plus, on ne peut repérer, au moyen de la variation de teinte de la couche, la quantité de brome qui se fixe sur la plaque, cette variation étant trop peu sensible avec les doses employées.

On opérait d'une façon discontinue en bromant par tranches successives pendant des temps croissant de 10 sec. en 10 sec. ; le coin iodé est ainsi bromé par bandes perpendiculaires à l'arête du coin ; les plaques exposées à la lumière indigo du mercure indiquant la région de plus grande sensibilité à cette radiation, celle-ci s'obtient avec une durée de bromage d'autant plus grande que l'iodage a été lui-même plus poussé, mais qui ne doit pas dépasser une certaine valeur, sinon la plaque se recouvre, au développement, d'un halo uniforme, le « voile de brome » des daguerréotypistes.

Il faudra donc, pour éviter cet effet et obtenir la sensibilité maxima, bromer avec les précautions que j'ai indiquées et mesurer les temps avec une grande exactitude (en tenant compte des variations possibles de température). Ces essais ont montré que la sensibilité est plus grande avec des couches d'iodure donnant la teinte jaune du deuxième ordre

qu'avec les couches du premier ordre employées ordinairement dans le daguerréotype, la couche d'argent initiale doit naturellement être plus épaisse.

Finalement, avec les appareils décrits, l'iodage, poussé jusqu'au jaune d'or légèrement verdâtre du deuxième ordre, durerait 6 minutes, le bromage, 30 secondes.

Disparition de l'image latente. — Il ne faut pas attendre trop longtemps avant d'exposer la plaque impressionnée aux vapeurs de mercure : à la température ordinaire, l'image latente disparaît peu à peu ; par chauffage à 100° sur une plaque de cuivre, l'image latente disparaît en quelques minutes.

Les vapeurs de chlore, brome, iode détruisent l'image latente ; il en est de même des vapeurs oxydantes d'acide azotique.

Plus curieux est le fait signalé par Daguerre ⁽¹⁾ et qu'il est facile de vérifier : en recouvrant plusieurs fois de la buée de l'haleine la plaque impressionnée, on atténue l'image jusqu'à la faire complètement disparaître ; le résultat est le même si on place une plaque impressionnée au-dessus d'eau bouillante ou si on répand à sa surface de l'eau distillée.

Une autre cause de disparition ou plutôt d'affaiblissement de l'image latente est l'action des rayons de grande longueur d'onde. Foucault ⁽²⁾ a montré que ce phénomène se produisait pour les plaques simplement iodées (les rayons destructeurs appartiennent alors à l'infra-rouge) aussi bien que pour les plaques iodées et bromées (dans ce cas, les rayons destructeurs appartiennent au spectre visible). Cette action, si intéressante au point de vue théorique, est suffisamment lente pour qu'on puisse la négliger dans les expériences qui

⁽¹⁾ DAGUERRE, *C. R.*, 1843.

⁽²⁾ FOUCAULT, *Œuvres complètes*, pp. 21 à 50.

suivent où la radiation utilisée, indigo du mercure, n'était pas séparée du vert et du jaune.

Aspects de l'image daguerrienne. Grain de la plaque. — Sur une plaque pour laquelle le temps de pose est normal, les parties impressionnées se recouvrent, après développement, d'une pellicule blanchâtre par diffusion, de sorte qu'on obtient un négatif par transparence, mais un positif par réflexion. Cependant, si la durée de pose augmente, le dépôt dû au mercure change d'aspect, il devient miroitant et paraît noir par rapport aux parties dont l'exposition est restée normale; ce phénomène avait reçu des anciens photographes le nom de « solarisation ». Si on examine, par des procédés microscopiques, une plaque iodée faite au moyen d'une couche mince d'argent ⁽¹⁾, on s'aperçoit qu'elle est formée de grains, quelle que soit l'origine, chimique ou cathodique, de l'argenture.

On peut étudier une semblable couche par un dispositif ultramicroscopique, ou, plus simplement, en envoyant sur la plaque un faisceau rasant intense, tamisé par un verre jaune.

La discontinuité de la couche est également prouvée par le fait qu'elle diffuse la lumière en donnant des couleurs complémentaires des couleurs par réflexion; ce phénomène est particulièrement facile à observer avec les couches d'iodure du deuxième ordre : ainsi la couche qui donne la sensibilité maxima à l'indigo du mercure, diffuse une belle lumière bleue qui permet de se rendre compte de l'épaisseur de la couche.

Si on examine, par les mêmes procédés microscopiques, une plaque impressionnée et développée au mercure, on ne constate pas de modification sensible dans l'aspect

(1) COTTON et MOUTON, Observation sur la structure et les propriétés des argentures légères et des dépôts d'iodure d'argent. *C. R. Ass. fr. av. Sc.*, Grenoble (1904).

des grains, il semble donc que ce sont les grains d'iodure qui déterminent la structure du dépôt.

Donc, comme pour toutes les plaques, la couche sensible n'est pas continuë et il faut abandonner la dénomination de plaques sans grains que l'on donne quelquefois aux plaques de Daguerre : elles présentent seulement des grains très petits et il y aurait lieu de chercher quelles sont les causes qui déterminent la grosseur de ces grains.

Théories du phénomène daguerrien. — Il n'est pas question de donner ici une théorie de ce phénomène si intéressant, mais simplement de faire, à son sujet, un petit nombre de remarques préliminaires qui ont conduit à quelques expériences très simples.

Les théories photographiques ne tiennent généralement compte que de l'iodure d'argent seul, celui-ci est sensible à la lumière ; mais si on argente cathodiquement une lame de verre et si on transforme tout l'argent en iodure par exposition à l'iode, on obtient une couche incomparablement moins sensible que la plaque daguerrienne, l'image obtenue par développement à la boîte à mercure n'a pas de contours nets. La couche de métal sous-jacente pourrait jouer le rôle de miroir et augmenter l'intensité de la lumière à la surface de l'iodure, si l'épaisseur de celui-ci est convenable, ainsi que le suggèrent les expériences de Scholl ⁽¹⁾ ; mais si on platine une glace, qu'on l'argente ensuite par pulvérisation de cathode et qu'on transforme tout l'argent en iodure, on obtient une plaque de Daguerre à miroir de platine, celle-ci n'a pas plus de sensibilité que la couche d'iodure seul et l'image n'est pas plus nette. La couche d'argent, si mince soit-elle, est donc indispensable à la formation de l'image daguerrienne.

Ce fait doit être rapproché des résultats des expériences de

⁽¹⁾ SCHOLL, *Ann. der Phys*, 58 (1899); p. 149.

Moser ⁽¹⁾, renouvelées par Waterhouse ⁽²⁾ puis par M. Lambert au Laboratoire des Recherches physiques sur la sensibilité à la lumière des couches d'argent et d'une façon générale des surfaces métalliques ou non. Il semble que le rôle de la couche d'iodure est seulement d'augmenter la sensibilité de la plaque d'argent, sensibilité réduite qui doit vraisemblablement être attribuée à la présence d'une couche très mince d'oxyde.

Les expériences de Scholl montrent que la sensibilité des plaques de Daguerre dépend de phénomènes qui se produisent à la surface libre de l'iodure, phénomènes dans lesquels l'oxygène de l'air pourrait jouer un rôle catalytique.

D'autre part, la longueur d'onde pour laquelle la sensibilité est maxima est la même que celle qui correspond à la sensibilité actinométrique maxima ⁽³⁾ et à la variation de résistance ⁽⁴⁾

Cette constatation, ainsi que le mode de développement des plaques de Daguerre, suggèrent que la modification apportée à la surface de la plaque est d'ordre électrique.

Cette hypothèse n'est pas nouvelle : en 1860, elle était indiquée par Testelin ⁽⁵⁾; elle a acquis depuis plus de solidité.

Il ne saurait être, évidemment, question d'invoquer le phénomène de Hertz, mais un effet photo-électrique plus général qui est à la base des théories modernes de l'action chimique de la lumière. Dans ces théories, l'effet premier de la lumière sur un corps serait un déplacement des électrons constituant les couches superficielles de l'atome (d'où une

(1) MOSER, *Ann. der Phys.*, 56 (1842), p. 210.

(2) WATERHOUSE, *Phot. Journ.*, 39, p. 60 et *Proc. Roy. Soc.*, London, 1900.

(3) ATHANASIU, *Thèse*, p. 84 (Paris 1925) et *Annales de physique*, 4 (1925), p. 411.

(4) SCHOLL, *Ann. der Phys.*, 16 (1905), p. 193.

(5) TESTELIN, *Essai de théorie des images photographiques par rapport à une cause électrique*.

interprétation de la variation de conductibilité). Les parties éclairées pourraient ainsi posséder une polarité électrique leur permettant d'attirer les vapeurs métalliques. Les particules dues à la pulvérisation des cathodes étant elles-mêmes chargées, on s'expliquerait la rapidité du développement dans la cloche à pulvérisation.

Des essais d'impression d'une plaque de Daguerre dans un champ électrique (1 000 volts/cm.) ont montré que la sensibilité n'augmentait pas dans ces conditions : ce résultat n'infirmerait pas la théorie, car il faut des champs sans doute beaucoup plus intenses pour agir sur les électrons des atomes.

CHAPITRE II

Méthodes interférentielles de répétition.

Franges de superposition que l'on peut obtenir au moyen de deux lames semi-argentées, traversées par un faisceau de lumière blanche. — Le mode de production de ces franges, ainsi que leur théorie, ont été donnés par Fabry et Pérot ⁽¹⁾. Les dispositifs utilisés diffèrent, suivant que l'on étudie des lames minces (quelques dixièmes de millimètres) ou des lames plus épaisses. Dans le premier cas, on envoie un faisceau normal de lumière blanche sur les lames placées aussi près que possible à la suite l'une de l'autre, ou, mieux, disposées de telle manière que l'on projette, au moyen d'un système afocal, l'image de la première sur la deuxième, les franges sont alors localisées au voisinage des lames elles-mêmes ou de leur plan de superposition optique.

Si les épaisseurs e_1 , e_2 des lames sont égales ou multiples l'une de l'autre, on observe dans un viseur au point sur le plan de localisation, des franges colorées ; la frange centrale blanche indique le point où $e_1 = Ke_2$ ($K = 1, 2, 3 \dots$).

Franges rectilignes à l'infini. — Pour étudier des lames épaisses, on réalise avec le plus grand soin le réglage du parallélisme de leurs faces qui doivent être aussi parfaitement planes que possible ; ensuite on lance à travers les deux lames un faisceau de lumière intense provenant d'un fort bec à acétylène ou d'un arc suivi d'une lentille à foyer

(1) FABRY et PÉROT, *Annales de physique*, 7^e série, 12 (1897).

convenable ; ce faisceau est reçu dans une lunette réglée sur l'infini.

Si les deux lames font entre elles un angle suffisant et si leurs épaisseurs sont très près d'être égales (ou multiples l'une de l'autre), le champ de la lunette est traversé par des franges rectilignes colorées.

La théorie de ces franges peut être faite, soit en considérant isolément les rayons interférant deux à deux, l'un ayant subi deux réflexions sur les faces de la première lame, l'autre deux réflexions sur les faces de la seconde lame, soit en employant une méthode synthétique ⁽¹⁾ et calculant l'effet produit sur une onde plane incidente par la première lame, puis par la deuxième.

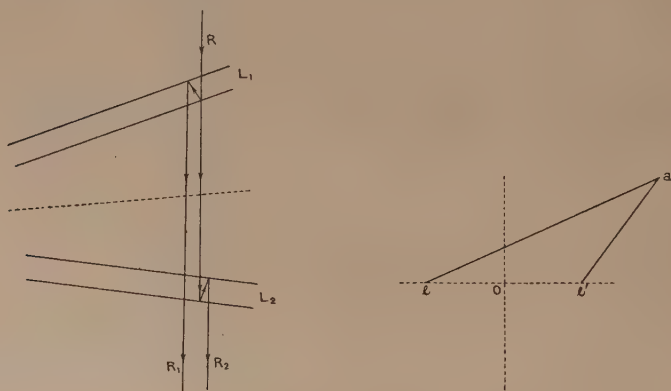


Fig. 1.

Au point a du plan focal de la lunette (fig. 1) viennent converger les rayons R_1 , R_2 dont la différence de marche est δ .

$$\delta = 2e_1 \cos i - 2e_2 \cos i' = 2(e_1 - e_2) + e_2 i'^2 - e_1 i^2,$$

 i et i' étant les angles d'incidence sur les deux lames.

⁽¹⁾ FABRY et PÉROT, *Annales de Physique*, 7^e série, 12 (1897) et SCHUSTER, *Phil. Mag.*, 48 (1924), p. 609.

Si e_1 et e_2 sont très voisins ($e_1 - e_2 = \Delta e$).

$$\delta = 2\Delta e + e_1(i'^2 - i^2).$$

Soit, dans le plan focal de la lunette, l et l' les traces des normales aux lames sur ce plan, a le point du champ que l'on vise, f la distance focale de l'objectif, on a :

$$i = \frac{\overline{al}}{f}, \quad i' = \frac{\overline{al'}}{f}.$$

Si α est l'angle des deux lames : $\overline{ll'} = f.\alpha$.

$$i'^2 - i^2 = \frac{2\alpha.x}{f},$$

d'où :

$$\delta = 2\Delta e + 2e_1 \frac{\alpha.x}{f}.$$

On observera donc des franges parallèles à l'arête du coin formé par les deux lames. La frange centrale blanche correspond à $\delta = 0$, elle passe par le point o quand $e_1 = e_2$ (de même si e_2 est égal à $2e_1, 3e_1, \dots$).

Les franges ne sont visibles que si l et l' sont séparés ; si ces deux points sont trop voisins, les franges perdent leur netteté et s'estompent pour se fondre en une teinte plate quand, les deux lames devenant parallèles, les points l et l' se confondent.

On peut reproduire très simplement les apparences observées en plaçant une lame de glace sur un miroir et l'inclinant de quelques degrés. En accommodant sur l'infini et regardant dans la lumière provenant d'une source étendue réfléchiée par le miroir, on aperçoit des franges rectilignes dues à la superposition de lame réelle et de la lame virtuelle, image de la première dans le miroir. Ce sont des franges analogues que donne la lame réfléchrice d'une lunette autocollimatrice quand on reçoit le faisceau de retour.

Le même appareil constitué par deux lames semi-argentées peut être utilisé par réflexion et donner ainsi un appareil analogue à celui de Jamin ; dans ce cas, les lames doivent être plus étendues que celles des interféromètres usuels qui utilisent la transmission.

Franges localisées au voisinage de l'une des lames. — Les lames épaisses peuvent produire aussi des franges localisées. Précisons, pour plus de clarté, les conditions de l'expérience :

Les lames L_1 et L_2 sont constituées par deux interféromètres et distantes d'environ 1 m. 60 ; les glaces ont un diamètre de 4 cm. ; la source est un arc électrique placé devant une lentille qui projette l'arc à mi-distance entre les deux lames. Lorsque les lames étant parallèles, leurs épaisseurs sont égales, il suffit de faire tourner légèrement l'un des deux interféromètres par rapport à l'autre, en agissant, par exemple, sur ses vis calantes, pour obtenir les franges. Le système de franges se déplace évidemment en bloc au fur et à mesure qu'on fait tourner les vis calantes.

Si les deux lames sont bien parallèles, on n'obtient, au foyer de la lunette, qu'une teinte plate qui est le blanc si les épaisseurs sont égales : ces conditions étant réalisées, modifions le mode d'éclairage en amenant l'image de l'arc sur la lame L_2 ; de la sorte, on utilise toute la surface de la lame L_1 et une partie seulement de la lame L_2 . Au plan focal de la lunette, on obtient toujours une teinte plate ou tout au moins des franges très élargies et floues. Si on tire l'oculaire de la lunette de façon à viser au voisinage de la lame L_1 , on observe des franges irrégulières et brillantes. Ces franges sont dues à ce que les faces de la lame L_1 , employée dans l'expérience, ne sont pas parfaitement planes et que, par conséquent, l'épaisseur de la lame n'est pas constante en tous ses points.

Supposons, par exemple, que L_1 soit un coin d'angle α

très petit et qu'au contraire la lame L_2 soit d'épaisseur rigoureusement uniforme dans la petite région utilisée.

Les résultats observés sont les mêmes que, si la lame L_2 ayant ses faces parfaitement planes et parallèles, la lame L_1 étant imparfaitement réglée, l'ensemble est éclairé par une *source étendue* : alors, les divers groupes de rayons qui viennent converger en un point du plan focal de la lunette ne présentent pas la même différence de marche, aussi dans ce plan, on ne peut observer de franges nettes.

Au contraire, si on vise au voisinage de la lame L_1 , chaque point du champ correspondra, si l'incidence varie peu, à une différence de marche bien déterminée et c'est alors qu'on observera les franges les plus nettes.

Dans le plan de visée, on aura des franges rectilignes parallèles à l'arête du coin.



Fig. 2.

De même, dans le dispositif précédemment décrit, comprenant la *lentille de projection*, les rayons qui, provenant d'un même incident, peuvent interférer, ne sont plus parallèles et ne viennent pas converger en un point du plan focal.

Supposons que l'épaisseur dans la partie centrale du coin L_1 soit égale à l'épaisseur de la lame L_2 (fig. 2). Les rayons interférents ont suivi les chemins ABCDEF et ABC'D'E'F', leurs prolongements se rencontrent au point A'

virtuel. Si l'angle du coin et l'incidence sont très faibles, un calcul simple montre que le point A' est à une distance de la face AC de L_1 égale à e .

Si on calcule la différence de marche des deux rayons en A' , on trouve :

$$\delta = 2\Delta e \cos i,$$

Δe étant la variation d'épaisseur au niveau A, i l'angle d'incidence ; comme i est très petit :

$$\delta = 2\Delta e.$$

Si au lieu d'un coin, on emploie une lame dont l'épaisseur varie irrégulièrement, les franges dessineront les zones d'égale épaisseur, la frange centrale blanche marque la zone où $\Delta e = 0$.

Ces phénomènes se présentent encore si l'épaisseur de L_1 est un multiple de e . Ils sont une généralisation des franges de superposition des lames minces obtenues par Fabry et Pérot avec une lame compensatrice d'épaisseur variable ; le compensateur est ici formé par la lame d'épaisseur uniforme L_2 .

On peut utiliser ces franges pour amener au parallélisme les miroirs de la lame L_1 , la lame L_2 ayant ses faces parallèles ; tout comme dans le réglage de l'interféromètre de Michelson, par exemple, on commence par chercher les franges rectilignes du coin virtuel formé par les deux miroirs, franges que l'on réduit ensuite à la teinte plate.

Anneaux de superposition à l'infini obtenus avec deux lames à faces planes et parallèles. — Nous venons de voir que si l'on place deux lames planes, parfaitement réglées au parallélisme et disposées parallèlement l'une à l'autre, on n'observe au foyer de la lunette, en les éclairant en lumière blanche, qu'une teinte plate qui est le blanc si les épaisseurs sont égales : quel que soit l'angle d'incidence, la différence de marche pro-

duite par les deux lames est la même ; pour produire une différence de marche au foyer de la lunette, il faut modifier l'incidence sur l'une des deux lames.

Pour y arriver, intercalons entre les deux lames une lentille convergente Λ_2 ; nous observons au foyer de la lunette de beaux anneaux ⁽¹⁾ colorés dont le centre est blanc si les épaisseurs sont égales. Voici comment l'expérience est disposée : la source est un petit trou T de 1 mm. de diamètre, éclairé par un arc électrique et placé au foyer d'une lentille Λ_1 , le trou T et la lentille sont centrés sur l'axe commun des deux lames (fig. 3).

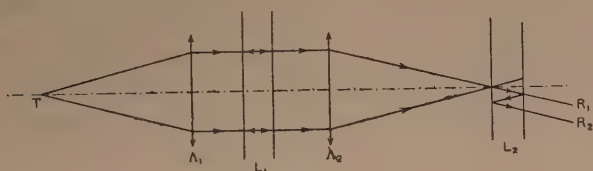


Fig. 3.

La symétrie du dispositif nous montre que l'aspect du phénomène doit être de révolution autour de l'axe ; nous ferons le calcul comme plus haut, en suivant la marche des rayons : il y a encore interférence entre les rayons deux fois réfléchis sur les faces de L_1 et deux fois réfléchis sur les faces de L_2 , ces deux rayons sortent parallèlement en R_1 , R_2 et vont converger dans le plan focal de l'objectif de la lunette.

Supposons les épaisseurs uniformes pour chacune des lames et égales entre elles ($e_1 = e_2 = e$) la différence de marche δ entre R_1 et R_2 est :

$$\delta = 2e - 2e \cos i,$$

ou si i est petit :

$$\delta = ei^2.$$

⁽¹⁾ Ces anneaux sont presque aussi beaux que ceux obtenus au moyen de l'appareil de Michelson, avec lequel du reste, le dispositif décrit présente quelque analogie.

On obtiendra donc des anneaux colorés dont le centre est blanc et dont les diamètres suivent la loi des anneaux de Newton.

Si les épaisseurs ne sont pas égales, le centre n'est plus blanc ; supposons, par exemple, que $e_2(L_2)$ soit plus petit que $e_1(L_1)$.

$$\delta = 2e_1 - 2e_2 \cos i = 2(e_1 - e_2) + e_2 i^2,$$

si δ dépasse 2 ou 3μ , les anneaux ne sont pas visibles, si on augmente lentement e_2 , on voit apparaître des anneaux pâles qui s'épanouissent, de nouveaux anneaux plus nets naissant au centre du champ ; pour $e_1 = e_2$ on retrouve le centre blanc entouré d'anneaux brillants ; si e_2 dépasse e_1 , les anneaux continuant à s'épanouir s'éloignent du centre du champ : on a alors un système de franges circulaires qui se serrent de plus en plus et dont le diamètre augmente au fur et à mesure que e_2 augmente, la frange blanche correspond à $\delta = 0$, c'est-à-dire à l'incidence $i_0 = \sqrt{\frac{2(e_2 - e_1)}{e_2}}$.

Les mêmes phénomènes se représentent si e_2 est double, triple, etc..., de e_1 on peut obtenir sans difficulté les anneaux pour une épaisseur $e_2 = 10e_1$ et au delà.

Le calcul précédent ne tient compte que d'une réflexion sur les faces de chaque lame ; en réalité, il y aurait lieu de tenir compte des réflexions multiples sur chaque lame. On ferait le même calcul que pour une seule lame recevant un faisceau de lumière convergente ; l'anneau central sera donc d'autant plus fin que le pouvoir réflecteur des lames est plus grand ; mais, d'autre part, on ne peut dépasser une certaine limite sans quoi l'absorption due aux quatre couches d'argent rendrait impossible l'observation des anneaux. Dans ces conditions, on n'a pas à tenir compte des rayons renvoyés par L_2 sur L_1 , puis de nouveau par L_1 sur L_2 , car après avoir traversé au minimum 8 fois l'épaisseur de l'argenteure, ces

rayons n'apportent qu'une contribution négligeable au phénomène étudié.

Remarquons que le dispositif permet de n'utiliser qu'une petite portion de la lame L_2 , il suffit de choisir la lentille Λ_2 de façon que son foyer soit sur la lame L_2 .

En somme, le système des deux lames est tout à fait analogue à une lame unique recevant de la lumière convergente, la première lame agit encore comme compensatrice pour diminuer de $2e$ la différence de marche donnée par la seconde : ce fait permet d'amener la différence de marche à une valeur nulle, ce qui est impossible avec une seule lame constituée, par exemple, par les deux miroirs d'un interféromètre.

On remarquera aussi l'analogie entre un tel dispositif et celui de Michelson ⁽¹⁾.

Nous allons étudier d'un peu plus près les conditions de production de ces anneaux.

Nous avons supposé les lames éclairées par un point lumineux placé au foyer d'une lentille ; or, le réglage terminé, on peut supprimer le diaphragme placé devant l'arc et utiliser l'arc en entier, les anneaux restent nets ; nous examinerons dans quelles limites peut varier la grandeur de la source pour que cette netteté ne soit pas modifiée.

Cherchons d'abord comment sont modifiés les phénomènes quand le trou-source n'est pas au foyer de la lentille Λ_1 ou plus simplement quand cette lentille est supprimée. Plaçons donc le trou-source en S et traçons encore les rayons qui ont subi deux réflexions sur L_1 et sur L_2 (fig. 4).

⁽¹⁾ Il y a également analogie avec le dispositif de Mascart. MASCART, *Traité d'optique*, I, p 464.

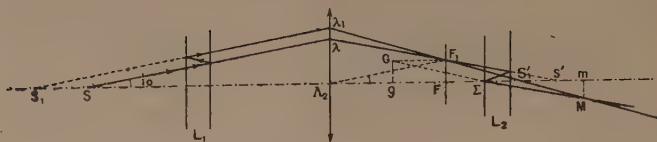


Fig. 4.

Le rayon incident rencontrant la lame L_1 sous l'incidence i_0 donne lieu aux deux rayons dont la marche est représentée par la figure, ces deux rayons se rencontrent en M cherchons le lieu de M quand i_0 varie.

Le prolongement virtuel du rayon réfléchi deux fois sur L_1 rencontre l'axe en S_1 tel que $SS_1 = 2e$, après avoir traversé la lentille ce rayon coupera l'axe au conjugué S'_1 de S_1 par rapport à la lentille, il passera également par le foyer F_1 relatif à la direction faisant l'angle i_0 avec l'axe.

Le rayon $S\lambda$, après avoir traversé la lentille passe aussi par F_1 et va couper l'axe en S' conjugué de S , après s'être réfléchi deux fois sur L_2 , il sort parallèlement à F_1S' , le rayon émergent (ou son prolongement virtuel) coupe l'axe en Σ tel que $S'\Sigma = 2e$, son prolongement virtuel rencontre la parallèle à l'axe menée par F_1 en un point G tel que :

$$F_1G = S'\Sigma = 2e.$$

On a les proportions suivantes :

$$\frac{\Sigma m}{Mm} = \frac{\Sigma g}{Gg} \quad \frac{S'_1 m}{Mm} = \frac{S'_1 F}{FF_1} \quad \text{d'où :} \quad \frac{\Sigma m}{S'_1 m} = \frac{\Sigma g}{S'_1 F}$$

les points Σ et S'_1 sont fixes, le rapport $\frac{\Sigma g}{S'_1 F}$ ne dépend pas de l'incidence i_0 , le point m ne dépend donc pas du rayon choisi; quand l'incidence varie, le point M reste dans un plan normal à l'axe, c'est dans ce plan qu'il faut viser pour avoir le plus de netteté. On observera encore des anneaux car le phénomène est toujours de révolution et à chaque

rayon incident correspond un point M bien déterminé; un cas particulier, cependant, est celui où le point lumineux est à une distance de la lentille égale à deux fois sa distance focale, les points S'_1 et Σ sont alors sensiblement confondus par conséquent le point M ne dépend plus de l'incidence et les anneaux disparaissent.

Supposons, au contraire SA_2 grand par rapport à la distance focale de la lentille et calculons la différence de marche des rayons qui interfèrent en M.

La double réflexion en L_1 introduit la différence de marche $2e \cos i_0$, celle-ci étant calculée jusqu'à un plan normal à la direction commune des rayons, d'un tel plan jusqu'en F_1 , les chemins optiques sont égaux, reste la différence des deux chemins F_1M . Cette différence est très voisine de $2e \cos i$, i étant l'angle du rayon F_1S' avec l'axe.

La différence de marche est donc :

$$\delta = 2e(\cos i_0 - \cos i) \quad \text{ou} \quad e(i^2 - i_0^2)$$

mais il y a entre i_0 et i la relation :

$$i_0 \times f = i \times FS' \quad i_0 = k \cdot i \quad \delta = ei^2(1 - k^2).$$

La loi des anneaux est la même que dans le premier cas, le diamètre est plus grand que pour des rayons parallèles. Dans ce cas $i_0 = 0$, $k = 0$, on retrouve $\delta = ei^2$; si $i_0 = i$ (S placé à $2f$ de la lentille) $k = 1$, $\delta = 0$ quel que soit i , il n'y a plus d'anneaux.

Influence de l'étendue de la source éclairante.

Remettant en place la lentille A_1 , cherchons quelle grandeur peut atteindre le diamètre du trou éclairant, placé au foyer de cette lentille, les anneaux conservant leur netteté (fig. 5).

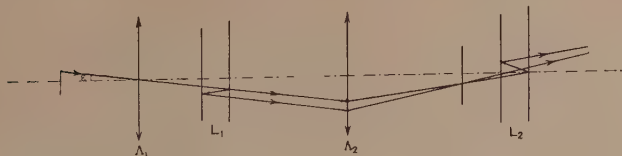


Fig. 5.

Un point de la source envoie un faisceau tombant sur L_1 sous l'incidence ε , le rayon direct et le rayon deux fois réfléchi sont distants de $2e\varepsilon$. La différence de marche de ces rayons est sensiblement :

$$2e \cos \varepsilon - 2e \cos i$$

ou :

$$e(i^2 - \varepsilon^2)$$

il faut que cette différence soit voisine de $e i^2$, valeur qui correspond aux rayons centraux.

Soit par exemple: $e\varepsilon^2 < \frac{\lambda}{10}$, si $e = 5$ mm. $\lambda = 0, \mu 5$,

$$\varepsilon < \frac{1}{300} \text{ environ}$$

avec une lentille de 1 m. de distance focale, le trou peut avoir 3 ou 4 mm. de diamètre sans que la netteté des anneaux soit altérée, on peut même prendre, comme source, le cratère d'un arc dont les charbons sont de faible diamètre.

Influence de l'orientation des lames.

Nous avons supposé les lames toutes deux orientées perpendiculairement à l'axe du système, cherchons quelle modification apporte un léger dérèglement de l'une des lames par rapport à ces positions.

Supposons par exemple que l'axe étant horizontal, la lame L_2 , tout en étant verticale, soit inclinée sur l'axe d'un petit angle α , la lame L_1 et la lunette d'observation sont, par contre, centrées sur l'axe.

Il est facile de se rendre compte qu'on observe toujours des anneaux (si les épaisseurs des lames sont très voisines). Ces anneaux ont pour centre le point du champ correspondant à la direction normale à la lame L_2 .

Supposons maintenant que ce soit la lame L_1 qui ne soit pas tout à fait normale à l'axe; les rayons qui interfèrent ne sont plus parallèles, donc si la lunette reste réglée sur l'in-

fini, les anneaux ne seront plus aussi nets ; d'autre part, si η est l'inclinaison de la lame L_1 sur l'axe du faisceau, la différence de marche donnée par la lame L_1 est de $2e \cos \eta$ au lieu de $2e$: tout se passe comme si la lame L_1 était d'épaisseur plus petite. Si donc, on dérègle légèrement la lame L_1 à partir de sa position normale, on voit les anneaux augmenter de diamètre en se resserrant et devenant moins nets.

Pour disposer la lame L_1 normalement au faisceau incident, on procédera par autocollimation, avec un trou bien rond de 1 mm. de diamètre découpé sans bavures dans du métal mince, on peut apprécier la coïncidence de l'objet et de l'image de retour au $\frac{1}{5}$ de millim. ce qui donne sur la position de la lame L_1 une erreur angulaire η de $\frac{1}{10.000}$ rad, sur l'épaisseur optique l'erreur relative sera de l'ordre de $\frac{1}{10^8}$.

Examinons enfin quel sera l'effet d'un léger dérèglement de la lame L_2 . La lame L_1 est fixe ou tout au moins peut être constituée par un étalon peu dérèglable ; la lame L_2 servant à mesurer le déplacement, au contraire est sujette au dérèglement.

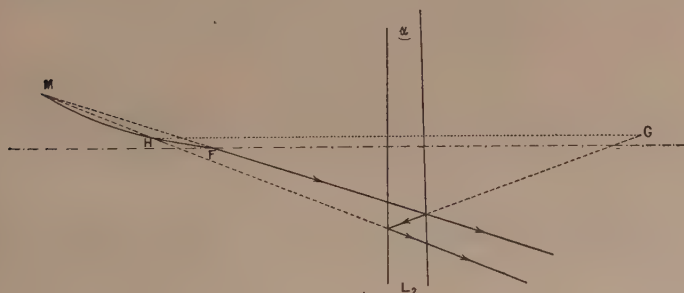


Fig. 6.

Il est facile de voir que l'effet est le même que pour une lame de Fabry et Pérot avec laquelle on observe des anneaux en lumière convergente

Si par exemple (fig. 6) les deux faces de la lame font entre

elles un angle α , les deux rayons émergents se coupent au point (virtuel) M sous l'angle 2α .

Le rayon deux fois réfléchi passe par le point fixe H, de sorte que le lieu de M est le segment capable de l'angle 2α décrit sur FH.

En conséquence les anneaux ne seront pas également nets dans toute leur étendue, si on change le tirage de la lunette, on déplace la zone de netteté vers l'arête (ou vers la base) du prisme formé par la lame.

On pourra, comme on le fait pour une lame seule, utiliser cette particularité pour régler la lame L_2 au parallélisme.

Cas de trois lames alignées normalement au même axe.

Disposons sur le trajet du faisceau parallèle entre la lame L_1 et la lentille Λ_2 , une lame L_3 que nous orienterons normalement au faisceau incident (fig. 7) : nous pourrions observer dans la lunette des anneaux pour trois valeurs différentes de

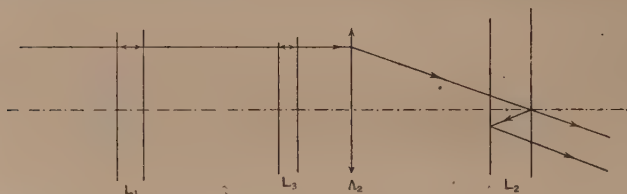


Fig. 7.

l'épaisseur de la lame L_2 , pour $L_2 = L_3$, $L_2 = L_1$ et enfin pour $L_2 = L_1 + L_3$.

Les anneaux sont naturellement plus sombres que dans le cas de deux lames et il convient d'opérer avec des argentures plus légères.

On fera le calcul de la même façon que pour deux lames, en associant les rayons qui ont subi deux réflexions sur les faces des lames L_1 ou L_3 ou des deux à la fois.

On a ainsi un moyen de réaliser sur un interféromètre L_2 la somme de deux longueurs représentées par des lames L_1 et L_3 .

UTILISATION DU SPECTROSCOPE POUR LES RÉGLAGES DES FRANGES ET DES ANNEAUX DE SUPERPOSITION

Reprenons d'abord le cas d'une seule lame L_1 . Faisons tomber sur cette lame un faisceau parallèle normal de lumière blanche que nous recevons sur un spectroscopie bien centré sur le faisceau (nous supposons la fente et l'arête du prisme verticales). Si le parallélisme des faces est bien réglé, l'épaisseur de la lame est constante et si cette épaisseur est assez faible (inférieure à 100μ , par exemple) le spectre est sillonné de fines canelures rectilignes et verticales. Si le parallélisme n'est pas réalisé, les canelures deviennent courbes (fig. 8).

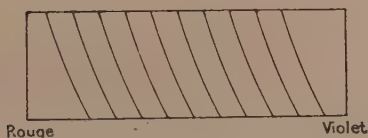


Fig. 8.

Supposons, par exemple, que l'épaisseur de la lame soit plus grande en bas ($e + \Delta e$) qu'en haut (e), la $k^{\text{ième}}$ canelure correspond à la long. d'onde λ telle que $k\lambda = 2e$ pour le haut de lame, à la longueur d'onde $\lambda + \Delta\lambda$ telle que $k(\lambda + \Delta\lambda) = 2(e + \Delta e)$ pour le bas.

Les canelures vues dans le champ du spectroscopie seront donc courbes, allant de haut en bas vers les λ décroissants.

S'il y a déréglage horizontal de la lame L_1 , les faisceaux qui convergent en un même point du champ n'ayant pas même différence de marche, les canelures perdent leur netteté.

On peut donc par l'aspect des cannelures régler le parallélisme de la lame ; les cannelures une fois réglées, c'est-à-dire obtenues avec le maximum de netteté et rectilignes, on peut, si le spectroscope est gradué en longueurs d'onde, mesurer l'épaisseur de la lame (jusqu'à une centaine de microns) à $1\ \mu$ près environ.

Spectres cannelés obtenus par superposition. — I. Lumière parallèle. Cannelures rectilignes. — Recevons le faisceau parallèle qui a traversé deux lames L_1 , L_2 sur un spectroscope bien centré sur le faisceau. Si les lames sont bien réglées, on a encore des cannelures très nettes et rectilignes (parallèles à la fente) si la différence des épaisseurs des lames Δe est de l'ordre de $100\ \mu$. S'il y a dérèglement des lames, les cannelures ne sont plus rectilignes ni nettes : le trouble apporté aux cannelures est d'autant plus prononcé que la différence des épaisseurs Δe est plus petite.

La $k^{\text{ième}}$ cannelure correspond à la longueur d'onde λ telle que

$$2\Delta e = k\lambda \quad k = \frac{2\Delta e}{\lambda}$$

si Δe diminue, la cannelure se déplace vers les petites longueurs d'onde ; en même temps la distance entre deux cannelures consécutives augmente et celles-ci s'élargissent. Pour $e_1 = e_2$, $\Delta e = 0$, les cannelures disparaissent.

Si on continue à augmenter l'épaisseur e_2 de la lame L_2 , les cannelures réapparaissent, d'abord espacées et larges ; à mesure que e_2 augmente elles se déplacent du côté des grandes longueurs d'onde, tout en se resserrant.

Les cannelures permettent de trouver rapidement, étant donné une lame L_1 , d'épaisseur e_1 la position de l'interféro-mètre constituant la lame L_2 qui correspond à une épaisseur e_2 voisine de e_1 et d'avoir une idée de l'écart entre les épaisseurs des deux lames ; cependant la position des cannelures ne donne aucun renseignement sur le signe de la différence

d'épaisseurs il est nécessaire de faire varier l'épaisseur e_2 et le sens du déplacement des cannelures permet alors de connaître le signe de Δe .

Si $e_2 = 2e_1, 3e_1, \dots$ les cannelures se reproduisent de la même façon que précédemment.

II. *Lumière convergente. Cannelures courbes.* — Disposons entre les deux lames la lentille convergente Λ_2 , recevons la lumière qui a traversé le système sur la fente d'un spectroscope bien centré sur le faisceau et cherchons quelles sont les apparences observées dans l'oculaire en supposant les épaisseurs e_1 et e_2 voisines l'une de l'autre ($e_1 - e_2 = 100 \mu$ environ). Soit d'abord $e_1 > e_2$, la différence de marche entre les rayons interférents est :

$$\delta = 2e_1 - 2e_2 \cos i.$$

Les cannelures brillantes correspondront aux longueurs d'onde λ telles que :

$$\delta = k\lambda$$

pour la $k^{\text{ième}}$ cannelure, on aura

$$k\lambda = 2e_1 - 2e_2 \cos i = 2\Delta e + e_2 i^2$$

sur l'axe on a $i = 0$, $k\lambda = 2\Delta e$, comme en lumière parallèle.

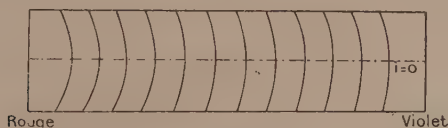


Fig. 9.

Si on s'éloigne de l'axe, i n'est plus nul, δ va en augmentant, il en est de même de λ , les cannelures seront donc courbes et concaves du côté du rouge (fig. 9). Soit $\lambda + \Delta\lambda$ la lon-

gueur d'onde correspondant à l'incidence i pour la $k^{\text{ième}}$ cannelure on a

$$\lambda + \Delta\lambda = \lambda + \frac{e_2 i^2}{k} \quad \Delta\lambda = \frac{e_2 i^2}{k}$$

(avec une dispersion normale on aurait une parabole).

Si on augmente e_2 , les cannelures se déplacent vers le violet et s'espacent, en même temps, leur courbure devient plus grande; en effet l'ordre d'interférence k diminue et pour une même valeur de i $\Delta\lambda$ augmente.

Si e_1 devient égal à e_2 , au centre du champ, les cannelures disparaissent comme en lumière parallèle, de chaque côté de la droite $i = 0$ une cannelure noire donnée par l'équation

$$e_2 i^2 = \frac{\lambda}{2}$$

est presque parallèle à la droite $i = 0$.

Enfin, supposons que e_2 devienne plus grand que e_1 , Δe devient négatif, le spectre continu qui occupait la ligne médiane $i = 0$ est reporté de chaque côté de cette ligne: sur la ligne médiane apparaissent de nouveau des cannelures d'abord très espacées et très larges, ces cannelures sont courbes mais cette fois concaves du côté du violet.

En effet :

$$|\delta| = 2\Delta e - e_2 i^2, \quad \delta = 0 \text{ si } i^2 = \frac{2\Delta e}{e_2}$$

si i augmente $|\delta|$ diminue, pour la $k^{\text{ième}}$ cannelure

$$k\lambda = 2\Delta e - e_2 i^2,$$

k restant constant, si i augmente, λ doit diminuer.

Les phénomènes observés sont les mêmes si $e_2 = 2e_1, 3e_1 \dots$

On a ainsi un moyen très rapide de régler deux lames dont l'une est d'épaisseur fixe, l'autre d'épaisseur variable (interféromètre) à une position très voisine de l'égalité; la méthode qui emploie la lumière convergente, a l'avantage de rensei-

gner sur le signe de l'écart existant entre les lames comparées par la seule observation du sens de courbure des cannelures.

Quand les cannelures sont très espacées, il suffit de remplacer le spectroscopie par la lunette pour observer les anneaux de superposition.

CHAPITRE III

Appareils interférentiels. Réglages.

La méthode employée a consisté à réaliser, au moyen des franges de superposition décrites, l'égalité (ou le doublement) de deux longueurs matérialisées par deux lames semi-argentées.

L'une des lames est amenée à avoir une épaisseur convenable et constitue donc un premier interféromètre servant d'étalon ; dans l'autre appareil, le miroir mobile est solidaire du chariot portant la plaque photographique qui doit être déplacée d'une distance égale à celle réalisée par l'étalon ou multiple exact de cette dernière.

Interféromètre étalon. — J'ai essayé tout d'abord de construire l'appareil à la façon des étalons fixes de Fabry et Pérot en substituant aux cales d'invar des cales de liège ; l'appareil ainsi constitué se règle bien et conserve son réglage, mais la distance entre les deux verres n'a pas un champ de variation suffisant, la pression exercée sur le bord des lames peut provoquer une déformation, il est préférable de séparer les deux opérations : réglage du parallélisme des verres et réglage de leur distance. J'ai donc établi une petite glissière suivant les indications données par Fabry et Pérot ⁽¹⁾.

Sur une plaque de fonte bien plane (25 cm. $\times$ 25 cm.) (voir fig. 10), on fixe deux vés en laiton qui portent, maintenues par du mastic de Golaz, deux lames de glace épaisses,

(¹) FABRY ET PÉROT. *Annales de Physique*, 16 (1899), p. 124.

d'environ 10 cm. de long sur 4 cm. de large-formant un dièdre d'environ 100° . Le miroir mobile est porté par un petit chariot dont la base a également la forme d'un vé dont l'ouverture est sensiblement la même que celle des premiers ; sur les deux faces du vé sont collées, à l'aide du même mastic, deux plaques de glace de 6 cm. $\times$ 4 cm. On ramollit les mastics et on applique vigoureusement le chariot sur la glissière en lui imprimant un mouvement de va-et-vient assez lent. On obtient ainsi une glissière qui, dans la faible amplitude de déplacement nécessaire, conserve le réglage des anneaux.

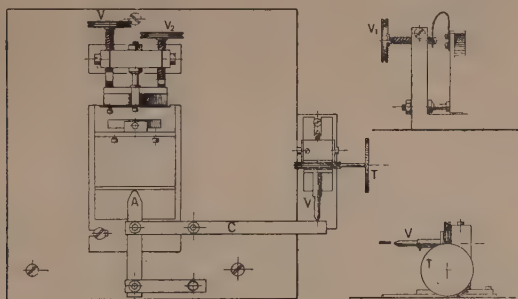


Fig 10.

Il faut donner quelque attention au mode de propulsion du chariot mobile pour ne pas causer de dérèglement, la force doit agir parallèlement à l'axe de glissement ; pour obtenir ce résultat, Fabry et Pérot utilisaient une glissière accessoire, formée également par des vés de verre, encadrant le chariot principal et l'attaquant à chacune de ses extrémités par une pointe.

Étant donné la petitesse du déplacement demandé et pour réduire les dimensions de l'appareil, j'ai utilisé le dispositif du parallélogramme articulé (représenté dans la figure 10). La tige A, dont l'extrémité est arrondie, reste parallèle à la

direction de glissement et appuie sur la paroi antérieure du chariot dont la surface a été polie ; la tige C forme levier, elle est actionnée (dans le sens du rapprochement des miroirs) par la vis V, celle-ci est commandée par un tambour mû au moyen d'une vis tangente T. Le chariot est lesté et, si la glissière est parfaitement propre et sèche, on peut faire avancer le miroir mobile d'une longueur correspondant à une petite fraction d'anneau.

Le dispositif de fixation des miroirs est celui qui a été utilisé dans le deuxième appareil et sera décrit un peu plus loin.

Banc interférométrique destiné à la photographie. — Il a été prévu d'assez larges dimensions de manière à éprouver sur une assez grande échelle la valeur du dispositif adopté (voir fig. 12).

a) *Glissière.* — Celle-ci a été conçue d'après les « Principes géométriques » ⁽¹⁾. Elle est constituée par deux cylindres d'acier de 50 cm. de long, de 4 cm. de diamètre, qui reposent sur une plateforme de fonte, bien rigide, portée par trois fortes vis calantes. Ces cylindres ont été d'abord tournés dans des barres d'acier doux, puis cémentés et trempés, enfin rectifiés à la meule. On termine l'opération par un rodage au moyen d'une bague de bronze du diamètre du cylindre qu'on déplace d'un mouvement de va-et-vient tandis que le cylindre tourne entre pointes.

L'un des cylindres est fixé au bâti par l'intermédiaire de vés portés par celui-ci ; l'autre cylindre passe à chacune de ses extrémités dans un collier, sur lequel il repose par l'intermédiaire de deux fortes vis, une troisième vis à la partie supérieure du collier permet d'immobiliser, par pression, le cylindre, une fois son réglage obtenu.

b) *Chariot* — Il est coulé en fonte douce et repose sur un

(1) POLLAR, *Revue d'optique*, 2 (1922), p. 8, 181, 317.

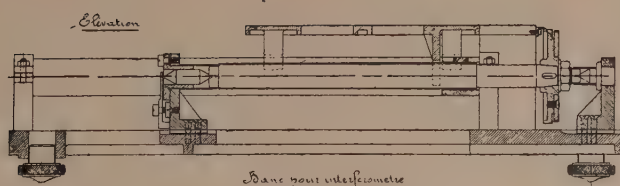
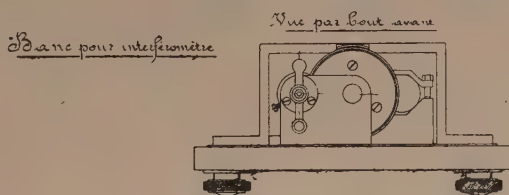
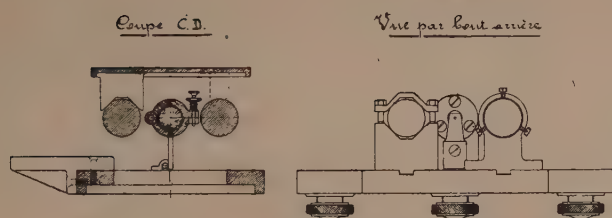
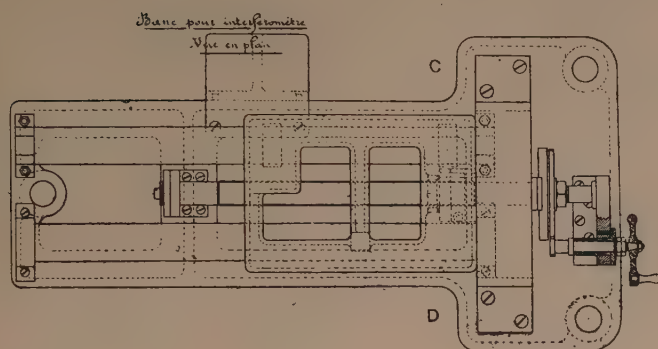


Fig. 11 et 12.

des cylindres par deux vés, sur l'autre par un bossage plan ; il présente à sa partie inférieure une saillie destinée à entrer en contact avec l'écrou propulseur ; le chariot porte, fixé par de fortes vis, le support du miroir mobile, d'autre part, on peut y adapter le support de la plaque photographique.

Réglage de la glissière. — Le premier cylindre est fixé dans ses vés, le deuxième placé dans ses colliers. On règle l'écartement des cylindres de façon que le bossage du chariot repose dans sa partie centrale sur l'un des cylindres, cet écartement est voisin de 10 cm. ; au moyen d'une jauge, on s'assure que sa valeur est la même aux deux extrémités de la glissière (le réglage obtenu par construction est suffisant). Il faut amener dans un même plan l'axe du cylindre réglable et l'axe du cylindre fixe. S'il en est ainsi, le chariot subira bien une translation parallèle à l'axe du premier cylindre. On agit, pour cela, sur les vis du collier. On fait un premier réglage au moyen d'un niveau à bulle, monté comme le chariot, qu'on déplace d'un bout à l'autre de la glissière, on complète ensuite le réglage en utilisant le dispositif d'autocollimation sur le miroir porté par le chariot et examinant l'image de retour lorsqu'on déplace le chariot ; quand cette image reste fixe, on immobilise le cylindre dans ses colliers et on vérifie que les anneaux ne se dérèglent pas dans la limite où on peut les observer avec la lumière de mercure.

c) *Vis.* — Elle a été construite en métal invar ⁽¹⁾ ; ce métal a l'inconvénient de se travailler assez difficilement, aussi le pas choisi pour le filetage a-t-il été assez grand : 1 millimètre. Cette vis a été construite sur un tour muni d'un dispositif de correction. Dans les expériences décrites dans ce mémoire, elle ne servait qu'à la propulsion ; on pourrait se proposer de l'étudier et d'en corriger les erreurs en utilisant l'appareil interférométrique dont elle fait partie.

(1) En vue d'un appareil ultérieur entièrement construit avec ce métal.

d) *Écrou*. — L'écrou est fait de deux demi-écrous réunis par une charnière, ces deux pièces peuvent être écartées suffisamment pour débrayer l'écrou ou, au contraire, serrées l'une contre l'autre au moyen d'une vis. L'écrou appuie contre un bossage porté par le chariot ; le point de contact est placé au niveau de la surface de glissement de façon à éviter le basculement du chariot par la poussée de l'écrou.

La rotation de l'écrou est empêchée par une tige rectiligne qui est fixée à la partie inférieure de l'écrou et appuie sur une barre de butée, celle-ci est actuellement rectiligne, mais pourrait être remplacée, après étude de la vis, par une barre dont la forme aiderait à compenser les erreurs de filétage de la vis.

La vis tourne entre pointes, elle porte à sa partie antérieure un tambour divisé qui tourne devant un vernier au $\frac{\pi}{10}$, le mouvement est commandé par un petit pignon denté, mû par une manivelle, et qui engrène avec un pignon denté solidaire de la vis. La démultiplication a été suffisante pour donner au chariot de petits déplacements ; à ce sujet, il faut remarquer qu'il convient d'huiler modérément les cylindres de la glissière, sinon le glissement continue quelque peu après qu'on a cessé d'agir sur la manivelle.

e) *Supports des miroirs*. — Une plateforme en acier fixée fortement à la partie antérieure du bâti, porte l'un des miroirs l'interféromètre, l'autre miroir est solidaire du chariot.

Les deux miroirs sont identiques, leur mode de soutien est le même. Ils sont taillés comme l'indique la figure 13 : la face argentée présente un chanfrein permettant de placer le miroir dans une bonnette en laiton qui laisse dépasser quelque peu la surface réfléchissante et appuie l'autre face contre trois ressorts placés à 120° les uns des autres et portés par une plaque de laiton épais, percée en son centre.

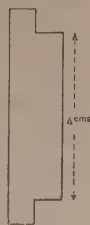


Fig. 13.

La bonnette est maintenue par trois vis dont les têtes se placent dans trois méplats portés par la bonnette de façon qu'elles ne dépassent pas la surface réfléchissante. Ces vis sont serrées modérément pour éviter les déformations des verres et permettent un premier réglage.

Le réglage du parallélisme des surfaces réfléchissantes se fait en agissant sur le miroir fixe. Pour cela, la plaque de laiton qui porte le miroir est susceptible elle-même de faibles déplacements par flexion, elle est fixée à sa partie inférieure à l'extrémité d'une courte tige d'acier (diamètre 8 mm.) boulonnée à son autre extrémité à une forte équerre d'acier ; celle-ci est solidement fixée à la plateforme de l'appareil (voir fig. 11). On donne à la tige d'acier de légères flexions en appuyant sur les coins supérieurs de la plaque portant le miroir par l'intermédiaire de ressorts qui peuvent être plus ou moins tendus au moyen de deux vis V_1 et V_2 . On peut choisir les ressorts de façon que les mouvements de flexion soient aussi délicats qu'on le désire. Ceux que j'ai employés étaient formés par des lames recourbées en forme de V, ayant une épaisseur de 0 mm. 8, une largeur de 6 mm.

Réglage du miroir mobile. — Avant de mettre en place le support du miroir fixe, il est bon de régler la position du miroir mobile de façon que la surface réfléchissante soit sensiblement normale à la direction du glissement. On y arrive par la méthode du retournement, en agissant sur les vis de serrage de la bonnette entourant le miroir.

Banc à double déplacement. — Dans la plupart des expériences faites, le miroir antérieur était fixé sur la plateforme du bâti ; il peut être avantageux dans certains cas, de déplacer aussi ce miroir : pour cela le support entier de ce miroir, c'est-à-dire l'équerre d'acier et la plaque de laiton peuvent être fixées sur un petit chariot auxiliaire en laiton massif, présentant également deux vés et un bossage plan, ceux-ci s'appuient sur les cylindres d'acier de la glissière. Le chariot

auxiliaire est mis en mouvement par une vis qui l'attaque en bout ; cette vis, au pas de 0 mm. 5, tourne dans un écrou porté par la plateforme antérieure (voir fig. 29) ; on termine le réglage en modifiant la pression au contact avec la vis, au moyen d'un ressort dont la tension est réglable. Par ce dispositif on réalise d'abord la superposition d'ordre 1, puis celle d'ordre 2 par déplacement du chariot principal, on rétablit ensuite la superposition d'ordre 1 par déplacement du chariot auxiliaire et ainsi de suite.

Installation des appareils et réglages.

Les appareils interférentiels L_1 , L_2 sont placés sur les piliers en maçonnerie de la cave du laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne (voir fig. 14) ils sont distants d'environ 1 m. ; L_1 peut être légèrement écarté de l'axe ; chacun de ces appareils peut recevoir la lumière émanée d'un petit trou T éclairé par une lampe Cooper-Hewitt ; la lentille A projette l'image du trou sur l'une ou l'autre des lames par le jeu du double miroir M_1M_2 , mobile autour de l'axe A largement écarté de l'axe général des appareils : ce dispositif permettra, une fois le réglage des anneaux terminé, de laisser la région de l'axe complètement libre pour y installer le spectroscopie, puis la lentille de projection.

Enfin, sur l'axe de l'appareil, on peut disposer un arc électrique complètement enfermé dans une boîte métallique dont la paroi antérieure porte un volet mobile percé d'un petit trou O, la lentille A_1 de 1 m. de distance focale ; la lunette d'observation des anneaux est montée sur un pied et peut être placée soit à gauche de L_2 , soit à droite de L_1 .

a) *Réglage du parallélisme des miroirs.* — Il se fait par la méthode classique : on enlève la lentille A et on examine à l'œil les images données par réflexions multiples, on amène

ces images à coïncider en agissant sur les vis de la bonnette ; on met en place la lentille Λ : les anneaux apparaissent à l'œil accommodé sur l'infini. On agit alors sur les vis commandant la tension des ressorts jusqu'à ce que les anneaux apparaissent bien ronds et ne se déforment pas si on balance l'œil dans une direction quelconque.

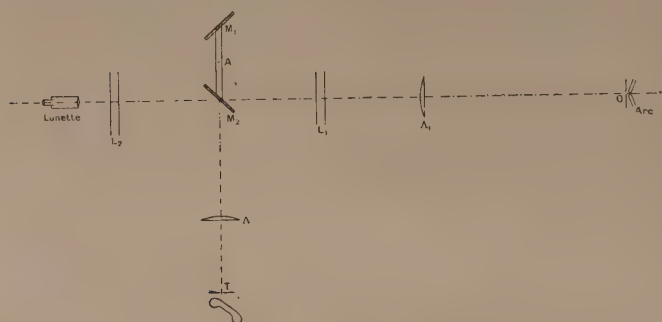


Fig. 14.

b) *Réglage du parallélisme des deux lames.* — On écarte légèrement l'appareil L_1 de l'axe, on place la lentille A_1 à environ 1 m. du trou O , la réflexion de la lumière de l'arc sur la lentille et sur les miroirs de L_2 permet de centrer la lentille et de placer le trou au foyer. Il tombe ainsi sur la lame L_2 un faisceau parallèle normal à la lame. On replace ensuite l'interféromètre L_1 et on règle sa position au moyen des vis calantes, de façon que la nouvelle image de retour se fasse également sur le trou O . On parfait le réglage en recevant le faisceau parallèle qui a traversé L_1 et L_2 sur une lunette assez grossissante ; si le parallélisme des deux lames n'est pas tout à fait réalisé, on a une série d'images du point lumineux, on amène toutes ces images à coïncider en agissant sur les vis calantes et en faisant tourner latéralement l'appareil L_1 .

c) *Réglage de l'épaisseur de la lame L_1 .* — La distance

des deux miroirs étant exprimée en longueurs d'onde de la radiation verte du mercure, on a utilisé pour la réaliser, d'une part les coïncidences entre les deux radiations jaunes du mercure, d'autre part la méthode des excédents fractionnaires.

On amène les deux miroirs de L_1 presque en contact (à environ 50μ), on mesure la distance des deux surfaces au moyen d'un spectroscope étalonné en longueurs d'onde ; en partant de l'épaisseur ainsi déterminée, on augmente lentement l'épaisseur de la lame en comptant le nombre de coïncidences qui se produisent entre les deux raies jaunes du mercure (il suffit, pour les avoir, de filtrer les rayons de la lampe à mercure par une cuve d'éosine). L'observation des coïncidences n'est pas aisée au moyen des anneaux pour de trop faibles distances, on observera donc, au début, en retirant l'oculaire de la lunette, les franges du coin d'air formé par les deux miroirs très légèrement déréglés.

On détermine ainsi, à quelques anneaux près, la coïncidence la plus voisine (généralement par excès) de celle qui correspond à la distance demandée, il ne reste plus qu'à compter le nombre des anneaux verts qui défilent ensuite pour connaître, à une ou deux dizaines près, la distance des deux miroirs comptée en anneaux verts.

On mesure alors le diamètre des anneaux avec une lunette à réticule mobile de grossissement assez faible et préalablement tarée. On fait cette mesure en lumière verte (écran n° 62 de Wratten), en lumière indigo (écran 6), en lumière jaune et jaune verdâtre (cuve d'éosine ou écrans 23 A et 59 associés). Pour faciliter cette dernière mesure, on dépasse légèrement la coïncidence de façon que les deux systèmes d'anneaux soient nettement séparés.

Le tarage de la lunette, fait au goniomètre de Brunner, a donné pour un angle de $1^{\circ} 3,09$ tours de tambour ; un tour de vis correspond à un angle de $\frac{\pi}{180 \times 3,09}$ radian.

Si α est le diamètre angulaire de l'anneau pointé, l'ordre

d'interférence P au centre des anneaux est, en désignant par N le numéro d'ordre de l'anneau pointé :

$$P = \frac{N}{\cos \frac{\alpha}{2}} = N + N \frac{\alpha^2}{8},$$

c'est-à-dire que la partie fractionnaire p est $\frac{N\alpha^2}{8}$. N est déterminé avec assez d'approximation pour qu'on puisse connaître exactement les deux premières décimales de $\frac{N\alpha^2}{8}$.

Si les ordres d'interférence au centre pour les trois autres radiations sont : $N_1 + p_1$, $N_2 + p_2$, $N_3 + p_3$, on a :

$$(N + p)\lambda = (N_1 + p_1)\lambda_1 = \dots$$

ou :

$$N \frac{\lambda}{\lambda_1} = N_1 + p_1 - p \frac{\lambda}{\lambda_1}.$$

La partie fractionnaire de $N \frac{\lambda}{\lambda_1}$ est donc égale à $p_1 - p \frac{\lambda}{\lambda_1}$.

On a calculé d'avance un tableau numérique à quatre colonnes indiquant pour les valeurs entières de N avoisinant le chiffre donné, les nombres $N \frac{\lambda}{\lambda_1}$, $N \frac{\lambda}{\lambda_2}$, $N \frac{\lambda}{\lambda_3}$ ⁽¹⁾.

Les nombres $N \frac{\lambda}{\lambda_1}$ etc..., sont donnés avec deux décimales ⁽²⁾. On forme donc, à l'aide des quatre excédents fractionnaires calculés, les trois quantités :

$$p_1 - \frac{\lambda}{\lambda_1} p, \quad p_2 - \frac{\lambda}{\lambda_2} p, \quad p_3 - \frac{\lambda}{\lambda_3} p$$

⁽¹⁾ On a utilisé les valeurs des longueurs d'onde données par M. PÉRARD du Bureau Int. des poids et mesures :

$$\begin{array}{ll} \lambda = 0 \mu 54607430 & \lambda_2 = 0,57695996 \\ \lambda_1 = 0 \mu 57906638 & \lambda_3 = 0,43583250 \end{array}$$

⁽²⁾ Les calculs se font rapidement au moyen d'une table de log. à 5 décimales.

et on cherche quelle est la valeur de N pour laquelle il y a concordance entre les trois fractions décimales ainsi calculées et les fractions figurant dans la table. On a ainsi exactement l'ordre d'interférence au centre du champ ⁽¹⁾. Il ne reste plus qu'à régler exactement la distance des deux miroirs à la valeur voulue.

d) *Réglage de l'interféromètre L_2* . — Le premier interféromètre ainsi réglé, on fait basculer le miroir M_1M_2 de façon à envoyer la lumière de la lampe à mercure sur L_2 , on règle le parallélisme des miroirs des deux lames au moyen des anneaux ; enfin, ayant fait tourner de 90° le miroir M_1M_2 , on allume l'arc et on reçoit, dans un spectroscopé, la lumière qui a traversé les deux lames ; au moyen des cannelures, on amène L_2 à une épaisseur très voisine (par défaut) de celle de L_1 , on remplace le spectroscopé par la lunette et on observe les anneaux de superposition ; on agit sur le chariot de manière à amener au centre du champ l'anneau central blanc. Il est bon de temps à autre, de contrôler le réglage et de mesurer l'épaisseur de la lame L_1 .

(¹) Etant donné la faible valeur de l'ordre d'interférence utilisé, il n'a pas été nécessaire de faire les corrections relatives à la température et à la pression.

CHAPITRE IV

Reproduction photographique d'un réseau gravé sur verre.

I. Emploi d'un objectif. — La question a été traitée par Abbe ⁽¹⁾, Lord Rayleigh ⁽²⁾ et Porter ⁽³⁾.

Rappelons quelques résultats : Soit un réseau R (fig. 15) éclairé par une onde plane monochromatique parallèle à son plan, l'onde incidente donne naissance aux ondes diffractées



Fig. 15.

de sorte qu'on obtient dans le plan focal d'une lentille LL' une succession d'images $S_0, S_1, S_1', S_2, S_2'...$ formées par l'onde directe et les ondes diffractées ; ces ondes viennent ensuite se réunir au plan R' conjugué de R par rapport à la lentille pour donner l'image du réseau.

(1) ABBE, *Leçons* rédigées par Lummer.

(2) LORD RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, 42 (1896), p. 167 et *Œuvres complètes*, IV, p. 235.

(3) PORTER, *Phil. Mag.*, 11 (1906), p. 154.

Cette image R' peut être considérée comme due à l'interférence des ondes provenant des sources secondaires $S_0, S_1, S'_1, \dots$. Si tous les spectres fournis par le réseau pouvaient être ainsi représentés dans le plan focal, le calcul montre qu'on aurait en R' la production exacte du réseau objet.

Prenons par exemple un objectif dont le rapport d'ouverture $\frac{\omega}{f}$ soit $\frac{1}{8}$ et plaçons le réseau à la distance $2f$ de la lentille. Pour un petit élément de réseau placé en R , le dernier spectre qui pénétrera dans l'objectif fera avec l'axe l'angle $\frac{\omega}{2f}$; si on se limite au quatrième ordre, l'intervalle ε du réseau est donné par :

$$\frac{1}{16} = 4 \frac{\lambda}{\varepsilon}$$

d'où, si on fait : $\lambda = 0, \mu 4$; $\varepsilon = 25 \mu$ environ.

Si l'on veut obtenir l'image d'une portion notable du réseau, la limite doit être encore élevée.

Si la condition donnée plus haut n'est pas remplie, c'est-à-dire si toutes les ondes diffractées ne concourent pas à la formation de l'image R' , celle-ci ne peut reproduire exactement l'objet.

En particulier, si on ne laisse passer que la lumière émanant de l'une des images $S_0, S_1, S'_1, \dots$, il est bien évident que, si le réseau R est parfaitement tracé, on aura dans le plan R' un éclaircissement uniforme et on n'observera aucun indice de la structure périodique de l'objet. Cherchons ce qu'on obtient dans le cas général.

Nous pouvons faire le calcul en appliquant la méthode de Lord Rayleigh. Supposons d'abord placée en R une fente très étroite éclairée par de la lumière parallèle et l'objectif diaphragmé par une fente, parallèle à la première, de largeur a . Soit ξ l'abscisse d'un point du plan R' comptée à partir de l'image géométrique de la fente, f' la distance du

plan R' à la lentille; l'amplitude lumineuse en ce point vaut :

$$a - \frac{\sin \frac{\pi \xi a}{\lambda f'}}{\frac{\pi \xi a}{\lambda f'}}$$

ou, à un facteur constant près, est exprimée par une quantité de la forme :

$$\frac{\sin u}{u}.$$

Si, en R, on a un réseau formé de fentes identiques régulièrement espacées, l'amplitude due à toutes les sources linéaires supposées en phase sera au même point (ξ) la somme :

$$A(u) = \frac{\sin u}{u} + \frac{\sin (u + v)}{u + v} + \frac{\sin (u - v)}{u - v} + \dots$$

v exprimant, à un facteur constant près, la distance ε' des images géométriques de deux fentes consécutives :

$$\left(v = \varepsilon' \frac{\pi a}{\lambda f'} \right).$$

Cette somme, périodique en u peut s'écrire en développant en série :

$$A(u) = A_0 + A_1 \cos 2\pi \frac{u}{v} + \dots A_p \cos 2\pi p \frac{u}{v} + \dots$$

avec :

$$A_p = \frac{2}{v} \int_0^v A(u) \cos 2\pi \frac{pu}{v} du.$$

Finalement le calcul donne :

$$A_p = \frac{\pi}{v} (1 \pm 1)$$

le signe + étant pris si $v > 2\pi p$, le signe — dans le cas contraire.

On aura donc pour l'amplitude lumineuse au point considéré du plan R' :

$$A(u) = \frac{\pi}{v} \left(1 + 2 \cos 2\pi \frac{u}{v} + 2 \cos 4\pi \frac{u}{v} + \dots \right. \\ \left. + 2 \cos 2\pi p \frac{u}{v} + \dots \right) \quad (1)$$

la sommation s'arrêtant quand p devient supérieur à $\frac{v}{2\pi}$.

Or si ε est l'intervalle du réseau objet on a :

$$\varepsilon \sin. \alpha = \varepsilon' \sin. \beta = \frac{v \lambda f'}{\pi a} \sin. \beta \quad \text{ou sensiblement} \quad \frac{v \lambda}{2\pi}$$

d'où on tire :

$$v = \frac{\varepsilon}{\lambda} 2\pi \sin. \alpha.$$

La condition $p \leq \frac{v}{2\pi}$, s'écrit : $\sin \alpha > p \frac{\lambda}{\varepsilon}$, sous cette forme elle signifie que les faisceaux diffractés jusqu'au $p^{\text{ième}}$ ordre entrent dans l'objectif et contribuent à la formation de l'image.

Si $v < 2\pi$, il n'entre aucun faisceau diffracté dans l'objectif, on a dans le plan R' un éclaircissement uniforme.

Si $\frac{v}{2\pi}$ ne peut prendre que la valeur 1 on obtient :

$$A(u) = \frac{\pi}{v} \left(1 + 2 \cos. \frac{2\pi u}{v} \right)$$

qui représente le résultat de l'interférence des trois sources S_0, S_1, S_1 .

On retrouve ainsi, par la méthode plus générale de Lord Rayleigh le résultat de la théorie d'Abbe.

Si on place dans le plan R' une plaque sensible, on obtiendra un réseau image dont la constitution dépendra de l'équation (1). Si on admet que l'amplitude de la vibration qui traverse (ou qui est réfléchiée par) le réseau image suit la même loi périodique que l'intensité de la lumière qui a

servi à faire la photographie, cette amplitude sera représentée par l'équation $I(u) = A^2(u)$.

On retrouve ainsi l'égalité que Porter met à la base de ses calculs où l'amplitude lumineuse donnée par un réseau est développée en série de Fourier ⁽¹⁾ chaque terme du développement représente l'effet d'un réseau « simple » donnant un seul ordre de spectres, les intervalles fondamentaux des réseaux simples successifs sont les sous multiples entiers de l'intervalle fondamental du réseau considéré.

Le résultat photographique pourrait donc être modifié suivant le nombre des spectres admis dans l'objectif. La figure 16 montre le résultat obtenu d'après Porter pour un réseau dont les traits opaques sont doubles des intervalles transparents ⁽²⁾.

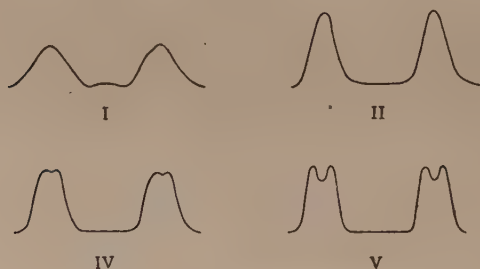


Fig. 16.

Les courbes représentent les variations de l'amplitude en fonction de ξ suivant le nombre de spectres admis (nombre indiqué en chiffres romains).

Si l'objet photographié au lieu d'être traversé par un faisceau de lumière parallèle peut être considéré comme lumineux par lui-même ⁽³⁾, le calcul est analogue mais au lieu

⁽¹⁾ Voir aussi STONEY, *Phil. Mag.*, 42 (1896), p. 335.

⁽²⁾ Ces courbes figurent l'amplitude lumineuse, la courbe de l'intensité s'en déduit facilement.

⁽³⁾ Dans ce cas la théorie d'Abbe ne s'applique pas.

d'additionner les amplitudes au plan conjugué, il faut ajouter les intensités :

$$I(u) = \frac{\sin^2 u}{u^2} + \frac{\sin^2 (u + v)}{(u + v)^2} + \frac{\sin^2 (u - v)}{(u - v)^2} + \dots$$

on obtient de même :

$$I(u) = I_0 + I_1 \cos 2\pi \frac{u}{v} + \dots I_p \cos 2\pi p \frac{u}{v} + \dots$$

la somme étant continuée tant que p est inférieur à $\frac{v}{\pi}$, le résultat est donc semblable à celui qu'on a obtenu dans le premier cas ; cependant il faut remarquer que la limite inférieure de v qui était 2π dans le premier cas n'est plus, toutes choses égales d'ailleurs, que π dans le second cas : la « limite de résolution » est deux fois plus petite.

C'est ainsi que Lord Rayleigh fit ses premiers réseaux photographiques en photographiant à l'aide d'un objectif une étoffe rayée.

Il faut remarquer que notre calcul suppose l'objectif géométriquement parfait. Aussi on ne pourra espérer pratiquement obtenir au moyen d'un objectif la reproduction exacte d'un réseau d'intervalle plus petit que le $\frac{1}{50}$ de millim.

On peut abaisser cette limite en opérant par contact.

II. Reproduction d'un réseau par contact. — Quelle que soit la pression exercée entre la plaque et le réseau-objet, il n'en subsiste pas moins entre les deux surfaces un léger intervalle. Il s'ensuit que la reproduction n'est pas identique à l'original : certains spectres peuvent être supprimés, d'autres, au contraire, rendus plus intenses.

On peut se rendre compte théoriquement de ces effets en cherchant à calculer la répartition de la lumière qui a traversé un réseau plan sur un plan parallèle à celui du réseau situé à une petite distance de celui-ci.

Le calcul de cette répartition a été fait par Lord Rayleigh

dans sa « Théorie du Son » ⁽¹⁾, j'utiliserai ici la méthode donnée par le même auteur dans son article de l'Encyclopédie britannique (*Théorie ondulatoire de la lumière*) ⁽²⁾.

Prenons un réseau dont les traits sont opaques et éclairons-le en lumière parallèle normale au réseau.

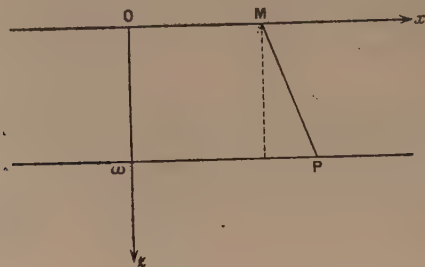


Fig. 17.

Soit Oz la normale au réseau dont les traits sont perpendiculaires à Ox , l'amplitude de la variable lumineuse en un point M du réseau (après passage de la lumière au travers du réseau) est une fonction périodique de x on peut la représenter par :

$$A(x) = A_0 + A_1 \cos \frac{2\pi x}{\varepsilon} + \dots A_p \cos 2\pi p \frac{x}{\varepsilon} + \dots$$

ε étant l'intervalle fondamental du réseau.

Cherchons l'amplitude en un point P pris dans le plan parallèle au réseau situé à la distance z du réseau. Nous désignerons l'abscisse ωP par ξ ; l'amplitude envoyée par une bande dx du réseau placée en M est :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} A(x) \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} - \frac{1}{8} \right) \frac{dx}{\sqrt{\lambda^2}}$$

r est la distance MP ; $r = \sqrt{z^2 + (x - \xi)^2}$;

⁽¹⁾ LORD RAYLEIGH, *Theory of Sound*, 268-301 et *Œuvres complètes*, I, p. 510.

⁽²⁾ LORD RAYLEIGH, *Enc. brit. Wave theory of light* et *Œuvres complètes*, III, p. 118.

en remplaçant $A(x)$ par sa valeur nous avons à calculer des intégrales telles que :

$$A_p \int_{-\infty}^{+\infty} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} - \frac{1}{8} \right) \cos 2\pi \frac{px}{\varepsilon} \frac{dx}{\sqrt{\lambda r}}$$

ou :

$$\frac{A_p}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} - \frac{1}{8} - \frac{px}{\varepsilon} \right) + \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} - \frac{1}{8} + \frac{px}{\varepsilon} \right) \right] \frac{dx}{\sqrt{\lambda r}}$$

Pour calculer ces intégrales, reportons-nous au cas d'une onde plane d'amplitude constante, la partie la plus importante de l'intégrale de Fresnel :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} \right) \frac{dx}{\sqrt{\lambda r}}$$

est donnée par les portions de l'onde avoisinant le pôle c'est-à-dire pour lesquelles r est minimum. De même dans le cas d'une onde d'amplitude périodiquement variable, la portion importante de l'intégrale correspondra très sensiblement au minimum de

$$\frac{r}{\lambda} - \frac{px}{\varepsilon} \text{ pour l'une, } \frac{r}{\lambda} + \frac{px}{\varepsilon} \text{ pour l'autre}$$

$$\text{posons : } x - \xi = u \quad r^2 = x^2 + u^2$$

écrivons que $\frac{r}{\lambda} + \frac{pu}{\varepsilon}$ est minimum : il vient :

$$\frac{dr}{\lambda} + \frac{pdu}{\varepsilon} = 0$$

d'autre part $rdr = udu$. On obtient ainsi les valeurs U et R de u et r qui correspondent au minimum :

$$\frac{U}{p\lambda} = -\frac{R}{\varepsilon} = \frac{-x}{\sqrt{\varepsilon^2 - p^2\lambda^2}}$$

la partie la plus importante de l'intégrale est donnée par les

valeurs de u qui sont très voisines de U , posons donc $u = U + v$ et développons $\frac{r}{\lambda} + \frac{pu}{\varepsilon}$ suivant les puissances de v en nous arrêtant au 2^e ordre.

$$\frac{r}{\lambda} + \frac{pu}{\varepsilon} = \frac{R}{\lambda} + \frac{pU}{\varepsilon} + \frac{1}{2\lambda R} \left(1 - \frac{p^2 \lambda^2}{\varepsilon^2} \right) v^2 + \dots$$

en remplaçant $\frac{r}{\lambda} + \frac{pu}{\varepsilon}$ par sa valeur on ramène l'intégrale à celle de Fresnel, il suffit de développer les sinus.

Comme on a :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \cos. hx^2 dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \sin. hx^2 dx = \sqrt{\frac{\pi}{2h}}$$

il vient finalement pour la première partie de l'intégrale :

$$- \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{p^2 \lambda^2}{\varepsilon^2}}} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{p\xi}{\varepsilon} - \frac{R}{\lambda} - \frac{pU}{\varepsilon} \right)$$

de même pour la seconde partie :

$$- \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{p^2 \lambda^2}{\varepsilon^2}}} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{p\xi}{\varepsilon} - \frac{R}{\lambda} - \frac{pU}{\varepsilon} \right)$$

la somme donne :

$$- \frac{2}{\sqrt{1 - \frac{p^2 \lambda^2}{\varepsilon^2}}} \cos 2\pi \frac{p\xi}{\varepsilon} \cos \left(2\pi \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \sqrt{1 - \frac{p^2 \lambda^2}{\varepsilon^2}} \right).$$

Finalement la vibration au point P sera, en remplaçant ξ par x et changeant les signes :

$$A_0 \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + A_1 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\varepsilon^2}}} \cos 2\pi \frac{x}{\varepsilon} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\varepsilon^2}} \right) + \dots$$

pratiquement la sommation s'arrête au quatrième ou cinquième terme.

L'intensité lumineuse au point P est proportionnelle au carré de l'amplitude $A^2(x, z)$. Posons, pour abrégé

$$\varphi_p = 2\pi p \frac{z}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{p^2 \varepsilon^2}} \right).$$

$$\begin{aligned} A^2(x, z) = & A_0^2 + \frac{2A_0A_1}{\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\varepsilon^2}}} \cos \varphi_1 \cos \frac{2\pi x}{\varepsilon} + \dots \\ & + \frac{1}{2} \frac{A_1^2}{1 - \frac{\lambda^2}{\varepsilon^2}} \left(1 + \cos \frac{4\pi x}{\varepsilon} \right) \\ & + \frac{A_1}{\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\varepsilon^2}}} \frac{A_2}{\sqrt{1 - \frac{4\lambda^2}{\varepsilon^2}}} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \left[\cos \frac{2\pi x}{\varepsilon} + \cos \frac{6\pi x}{\varepsilon} \right] + \dots \end{aligned}$$

Si on place dans le plan z une plaque photographique, on obtiendra un noircissement périodique en x (la période étant aussi ε) : un véritable réseau.

Si on admet que l'amplitude de la lumière qui traverse le réseau (ou qui est réfléchi par lui) suit la même loi périodique que l'intensité de la lumière qui a servi à faire la photographie, celle-ci sera donnée comme une somme de la forme :

$$a(x) = a_0 + a_1 \cos \frac{2\pi x}{\varepsilon} + \dots$$

cette équation exprime bien la constitution d'un réseau, mais celle-ci n'est pas identique à celle du réseau-objet. Chacun des termes $a_0, a_1, \dots$, correspond à un ordre de spectres donné par le réseau. Calculons par exemple a_2 et désignons :

$$\frac{A_p}{\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{p^2 \varepsilon^2}}} \text{ par } K_p,$$

$$\begin{aligned} a_2 = & \frac{K_1^2}{2} + 2A_0K_2 \cos \varphi_2 + K_1K_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_1) \\ & + K_2K_4 \cos(\varphi_4 - \varphi_2) + \dots \end{aligned}$$

$$\varphi_1 = \frac{2\pi z}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{\varepsilon^2}} \right)$$

$$\varphi_2 = \frac{2\pi z}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4\lambda^2}{\varepsilon^2}} \right)$$

ou sensiblement :

$$\varphi_1 = \pi \frac{\lambda z}{\varepsilon^2}, \quad \varphi_2 = \frac{4\pi\lambda z}{\varepsilon^2},$$

$$a_2 = \frac{K_1^2}{2} + 2A_0K_2 \cos \frac{4\pi\lambda z}{\varepsilon^2} + K_1K_3 \cos \frac{8\pi\lambda z}{\varepsilon^2} + \dots,$$

le coefficient a_2 est donc sensiblement périodique en z , la période est :

$$Z = \frac{\varepsilon^2}{2\lambda},$$

Quand le coefficient a_2 s'annule le spectre du deuxième ordre est supprimé : on aura sur la plaque photographique placée à la distance correspondante un réseau ne donnant pas de deuxième ordre et ainsi de suite.

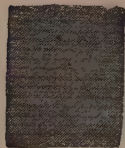
On aura donc en faisant varier la distance z de la plaque au réseau des images analogues à celles obtenues au moyen d'un objectif en supprimant certains spectres dans le plan focal, la distribution de l'intensité lumineuse sera donnée par des courbes analogues à celles de la figure 16.

La figure 18 montre des images obtenues avec un réseau au $\frac{1}{100}$ photographié au moyen d'un microscope de grossissement 110 environ, le réseau est éclairé par la lumière parallèle d'un collimateur, les photographies successives ont été prises en déplaçant la plaque de quantités croissantes à partir du plan conjugué du réseau : les mêmes tracés se retrouvent pour différentes distances ainsi les figures 1 et 10, 4 et 13 sont très peu distinctes.

On peut faire une vérification plus facile et plus directe en posant le réseau sur la plaque et interposant entre les deux surfaces une cale de mica d'environ $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épais-



1



2



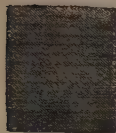
3



4



5



6



7



8



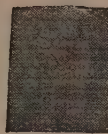
9



10



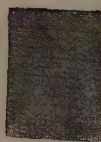
11



12



13



14

Fig. 18.

seur placée normalement aux traits à l'un des bords du réseau : ainsi la distance entre la plaque et le réseau va en croissant régulièrement d'une extrémité à l'autre de celui-ci. On expose le tout à un faisceau de lumière parallèle. Après développement, on obtient sur la plaque un réseau dont la constitution varie d'une façon continue d'un bord à l'autre : ce qu'on vérifie en examinant la plaque au microscope.

D'autre part si on regarde au travers du réseau image une source lumineuse en plaçant l'œil dans le spectre du deuxième ordre par exemple, on aperçoit à la surface du réseau une ou plusieurs franges noires (suivant l'épaisseur de la cale) ; ces franges dessinent un lieu d'égale épaisseur du coin formé par la surface du réseau et celle de la plaque — cette épaisseur correspondant à la suppression du spectre considéré — et sont pratiquement des droites si le réseau est bien régulier et les surfaces bien planes. Les franges sont particulièrement nettes quand on emploie des plaques de Daguerre et qu'on utilise le réseau image par réflexion.

Avec notre réseau au $\frac{1}{100}$ et une cale de 60 μ , on observait dans le deuxième ordre une frange noire qui divisait le réseau en deux parties égales : elle correspondait donc à une distance du réseau à la plaque d'environ 30 μ . Or, la période donnée par la formule approchée $\frac{\varepsilon^2}{2\lambda}$ nous donne en faisant $\lambda = 0, \mu 4 \frac{100}{0,8}$ ou 125 μ .

On peut également ⁽¹⁾ prendre comme plaque photographique la surface convexe d'une lentille argentée et iodée (le rayon de courbure était d'environ 1 m.) ; le réseau est simplement posé sur la lentille, on expose le tout à de la lumière parallèle ; en examinant par réflexion la lumière d'une source éloignée et plaçant l'œil dans les différents spectres, on observe des anneaux noirs localisés à la surface de la len-

⁽¹⁾ Voir LORD RAYLEIGH, *Œuvres*, I, p. 511 ; IZARN, *C. R.*, 106 (1893), p. 506,

tille : ceux-ci correspondent à une distance z du réseau à la lentille telle que le spectre dans lequel on place l'œil est supprimé. Si R est le rayon de courbure de la lentille, ρ le diamètre d'un anneau noir, la distance z correspondante est très sensiblement $\frac{\rho^2}{2R}$; pour le deuxième ordre le premier anneau observé a un rayon d'environ 0 cm. 8 ce qui correspond à : $z = 30 \mu$ environ ; pour le troisième ordre, la période du terme $a_3(z)$ est $\frac{2\epsilon^3}{9\lambda}$, la demi-période correspond donc à un rayon ρ tel que :

$$\frac{\epsilon^2}{9\lambda} = \frac{\rho^2}{2R} \quad \text{d'où :} \quad \rho = \frac{\epsilon}{3} \sqrt{\frac{2R}{\lambda}}$$

les rayons des premiers anneaux noirs observés dans les différents spectres doivent donc être entre eux comme 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$... ce que l'expérience permet de vérifier.

Décalage du réseau-image par rapport au réseau-objet. — Refaisons l'expérience de la page 60 en plaçant la cale de mica parallèlement aux traits du réseau, on obtient encore par photographie une surface striée dont l'aspect va en se modifiant à mesure qu'on s'éloigne de l'arête du coin ; le réseau ainsi formé donne, comme dans le premier cas, dans la lumière diffractée, des franges noires qui, cette fois, sont parallèles aux traits du réseau.

Si on étudie le réseau-image en lui superposant l'original et observant les lignes de moiré ⁽¹⁾ visibles dans les différents faisceaux diffractés, on constate que la succession de ces lignes présente un décalage lorsqu'elles traversent une des franges noires visibles dans le même faisceau. Il semble que, en ce qui concerne le faisceau diffracté utilisé, le tracé du réseau photographique a subi un décalage égal à la moitié de son intervalle.

(1) Voir plus loin page 82.

Le calcul permet de se rendre compte de ce phénomène : le tracé du réseau photographique étant représenté par la somme :

$$a_0 + a_1(z) \cos \frac{2\pi x}{\varepsilon} + a_2(z) \cos \frac{4\pi x}{\varepsilon} + \dots$$

si par exemple le terme $a_2(z)$ s'annule, nous observerons au point correspondant du réseau une frange noire en regardant dans le spectre du deuxième ordre ; si, z croissant, le terme $a_2(z)$ change de signe, ceci équivaut à un déphasage du terme $\cos \frac{4\pi x}{\varepsilon}$ égal à π c'est à-dire à un décalage du tracé égal à $\frac{\varepsilon}{4}$; les différentes parties du réseau n'auront donc pas des effets concordants.

En résumé, la photographie par contact d'un réseau, en lumière parallèle donne des résultats qui varient avec la distance séparant le réseau de la plaque ; de toutes façons, pour obtenir un réseau dont toutes les parties aient des effets concordants, il faut que la plaque et le réseau soient parallèles ; on peut supprimer dans le réseau-image tel ordre de spectre que l'on veut en plaçant la plaque à une distance convenable du réseau ; pour obtenir un réseau-image qui ait les mêmes propriétés que le réseau-objet il faut placer la plaque d'autant plus près du réseau que celui-ci a ses traits plus serrés.

Or il est particulièrement facile dans le cas où la plaque sensible est une plaque de Daguerre de faire ces différents réglages grâce aux franges produites par une lame argentée et un réseau.

Franges produites par une lame argentée et un réseau. — L'examen de l'épreuve obtenue avec le coin ou la lentille montre, en outre des franges déjà signalées, une irrégularité dans le dépôt du mercure après développement : celui-ci est plus abondant en certains endroits qu'à d'autres et les plages

ainsi dessinées forment encore des lieux d'égale épaisseur de l'intervalle compris entre la plaque et le réseau : des bandes parallèles à l'arête dans le cas du coin, des bandes circulaires dans le cas de la lentille.

Ce fait trouve son explication dans l'étude des franges que l'on obtient en superposant un réseau à une lame argentée : si l'angle que fait le plan du réseau avec le miroir n'est pas trop grand, on observe, en plaçant l'œil dans la lumière diffractée et accommodant sur le réseau, des franges parallèles à l'arête du coin formé par le miroir et le réseau.

Ces franges sont données par l'interférence des ondes réfléchies puis diffractées et des ondes d'abord diffractées puis réfléchies.

Soit, pour simplifier, une onde plane tombant sous l'incidence normale sur le réseau supposé parallèle au miroir, l'onde incidente donne naissance à une onde diffractée par le réseau qui se réfléchit sur le miroir et traverse à nouveau le réseau sans diffraction et à une onde qui traversant d'abord le réseau sans diffraction se réfléchit sur le miroir et se diffracte en traversant le réseau. La différence de marche entre ces deux ondes est :

$$2e(1 - \cos \theta)$$

e étant la distance entre la plaque et le réseau ; θ , l'angle de diffraction commun aux deux ondes, est donné par l'équation :

$$\sin \theta = p \frac{\lambda}{e},$$

e étant l'intervalle du réseau, p l'ordre du spectre dans lequel on place l'œil.

On aura des franges brillantes si $2e(1 - \cos \theta) = k\lambda$, des franges noires si $2e(1 - \cos \theta) = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$.

Si l'épaisseur e n'est pas constante, ces franges dessineront les lieux d'égale distance entre le réseau et le miroir ;

ces franges sont donc tout à fait analogues aux franges du coin d'air et, comme celles-ci, localisées sur le coin.

La figure 19 représente les franges obtenues avec un réseau au $\frac{1}{100}$, photographiées dans le premier et le troisième ordre au moyen de la lumière indigo de l'arc à mer-

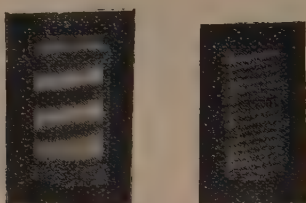


Fig. 19.

cure, les franges sont d'autant plus serrées que l'ordre dans lequel on observe est plus élevé, en effet la variation de distance correspondant à deux franges consécutives est :

$$\Delta e = \frac{\lambda}{2(1 - \cos \theta)}$$

pour le réseau considéré on peut écrire :

$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2}, \quad \theta = \frac{p\lambda}{\varepsilon}$$

d'où :

$$\Delta e = \frac{\varepsilon^2}{p^2\lambda}.$$

$$\text{Dans le premier ordre : } \Delta e_1 = \frac{\varepsilon^2}{\lambda},$$

$$\text{Dans le deuxième ordre : } \Delta e_2 = \frac{\varepsilon^2}{4\lambda},$$

$$\text{Dans le troisième ordre : } \Delta e_3 = \frac{\varepsilon^2}{9\lambda}.$$

On remarquera, en outre, que ces franges doivent être à peu près aussi serrées que celles qu'on observerait avec le réseau photographique obtenu en sensibilisant le miroir,

sans changer l'angle du coin : ce que l'expérience vérifie. On peut dès lors s'expliquer aisément l'effet signalé dans le développement de la plaque photographique, lorsque celle-ci est une plaque de Daguerre. Le coin formé par le réseau et le miroir est, comme nous l'avons vu, très analogue au coin d'air (avec cette différence que les franges sont visibles en lumière blanche avec le réseau pour des angles où il faut la lumière monochromatique avec le simple coin d'air).

Or si nous exposons à la lumière bleue du mercure un coin dont la lame supérieure est une lame de verre et la lame inférieure une lame de verre argentée et sensibilisée, on obtient après développement le dessin, par un dépôt de mercure plus abondant, des franges du coin en lumière bleue.

Il en est de même pour le coin où la lame de verre est remplacée par un réseau : le résultat est moins facile à prévoir à cause du grand nombre de faisceaux interférents, d'autre part il dépend de l'intensité relative des différents spectres.

Ainsi avec notre réseau au $\frac{1}{100}$, qui donnait des spectres brillants dans le deuxième ordre, on obtenait un dépôt plus abondant de mercure ⁽¹⁾ dans la zone où, plaçant l'œil dans la lumière diffractée du deuxième ordre, on observait une frange noire.

Les franges produites par une lame argentée et un réseau sont très précieuses dans la technique de la reproduction photographique des réseaux au moyen des plaques de Daguerre : elles permettent d'avoir la carte de l'intervalle entre la plaque et le réseau et par conséquent de guider l'opérateur pour le réglage du parallélisme. Pour augmenter la précision de ce contrôle, on regardera ces franges en plaçant l'œil dans l'ordre de spectre le plus élevé possible.

(1) Le premier à partir de l'arête du coin ou du point de contact du réseau et de la sphère : au voisinage de l'arête ou du point de contact on observe également une large zone où le dépôt de mercure apparaît plus abondant.

Remarque. — On observe incidemment que les franges de la fig. 19 sont dentelées, ceci s'explique par la variation périodique du paramètre du réseau : l'épaisseur correspondant à une frange brillante étant $e = k \frac{\epsilon^2}{p^2 \lambda}$, si ϵ varie périodiquement il en est de même de e : d'où les dentelures.

Pratique de la reproduction par contact. — D'après ce que l'on a vu, le contact entre la plaque et le réseau doit être d'autant plus étroit que l'on veut une reproduction plus fidèle dans les ordres élevés.

On opérera dans un châssis-presse où la pression peut être graduellement accrue par des poids (l'appareil complet sera décrit plus loin) ⁽¹⁾ en éliminant soigneusement les poussières à l'aide d'un blaireau fin.

J'ai utilisé des plaques à grains fins de Lippmann (obligeamment préparées par M. de Watteville) ainsi que des plaques à la gélatine bichromatée suivant la technique d'Izarn, mais principalement des plaques de Daguerre préparées sur des glaces optiquement travaillées, argentées comme il a été indiqué au chapitre I.

Les plaques de Daguerre utilisées étaient simplement iodées, l'absence de sensibilité n'était pas un inconvénient et permettait, au contraire, de faire les réglages à une lumière modérée, l'argenture était soigneusement polie et iodée jusqu'à la coloration jaune d'or (15 sec. à 19°).

L'éclairage était fourni par un arc à charbons rectangulaires, le cratère positif étant placé au foyer d'une lentille; la pose était de 10 sec. avec un arc de 8 ampères. Le développement était fait dans la boîte à mercure à la température de 65°-70°, et durait 5 minutes.

On obtient ainsi directement des réseaux par réflexion, mais si la couche d'argent est assez mince le réseau peut don-

⁽¹⁾ Voir pages 73 à 79.

ner des spectres par transmission et peut servir à son tour à obtenir une copie photographique.

L'hypothèse faite sur l'amplitude de la lumière réfléchie (ou transmise) par un réseau photographié paraît vérifiée par les résultats numériques obtenus ; elle permet d'expliquer les propriétés des réseaux de franges ⁽¹⁾. Mais il faut ajouter que par un traitement chimique on peut modifier la structure du réseau photographique : ainsi lord Rayleigh augmentait l'éclat de certains spectres en lavant ses clichés faits sur des plaques au tannin avec une solution d'iode dans l'iodure de potassium ; on obtient le même effet avec les plaques de Lippmann en affaiblissant le cliché au moyen d'une solution de sulfate de cuivre dans l'eau salée ; pour les plaques de Daguerre, le traitement analogue consiste à exposer le cliché pendant quelques minutes aux vapeurs de la cuve à iode, le mercure et l'argent sont transformés en iodure ; le procédé est efficace surtout avec les épreuves obtenues sur couche d'argent mince.

(¹) Voir plus loin chapitre VI.

CHAPITRE V

Doublement photographique d'un réseau gravé sur verre.

Le principe de l'opération est très simple : il consiste à juxtaposer sur une même plaque deux copies photographiques du réseau, de manière que ces copies aient leurs traits rigoureusement parallèles et que les deux tracés se succèdent sans discontinuité, c'est-à-dire que la deuxième épreuve soit faite après une translation du réseau-objet égale à un multiple exact de l'intervalle du réseau.

Les essais ont été faits avec un réseau de Brunner au $\frac{1}{100}$ de mm. (mis à ma disposition par M. Pauthenier, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille) les traits ont une longueur de 2 cm., la surface striée une largeur de 15 mm.

Le support était assez plan, malheureusement la surface entière du réseau n'a pu être utilisée étant donné les imperfections du tracé. Il a fallu tout d'abord déterminer une région convenable du réseau ; pour cela on a opéré par réflexion après avoir argenté la surface du réseau par pulvérisation de cathode ; la méthode suivie est très simple : on éclaire le réseau par la lumière parallèle verte d'un arc à mercure. On observe l'onde diffractée dans un certain ordre (le troisième par exemple) ; si le réseau est parfaitement régulier, le front de l'onde est uniformément éclairé, il n'en est plus de même si le tracé présente des irrégularités. Pour fixer le résultat, on reçoit le faisceau diffracté sur une lentille et on place au voisinage du plan conjugué du réseau une plaque

photographique (la lumière utilisée est alors la lumière indigo du mercure).

Si les erreurs du tracé sont périodiques, comme il arrive généralement, on observe sur le front de l'onde, des cannelures régulières, mais il peut se produire des erreurs accidentelles qui se signalent par un changement dans la régularité des cannelures. C'est ce que montre la fig. 20 obtenue en photographiant dans le troisième ordre, au moyen d'un objectif de 20 cm. de distance focale, un plan parallèle à la

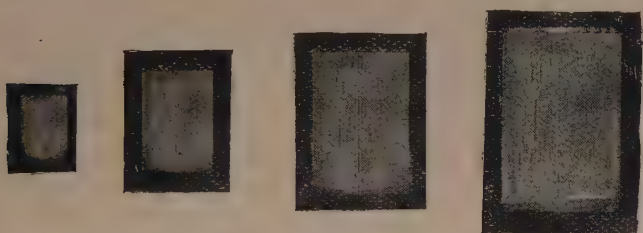


Fig. 20

surface du réseau à différentes distances de celui-ci, chacune de ces images montre, en plus des franges régulièrement espacées qui proviennent des erreurs périodiques de la vis, deux cannelures plus importantes dont l'une est très visible vers le milieu du réseau : celles-ci marquent un changement dans la régularité du tracé ⁽¹⁾.

Effectivement si on reçoit le faisceau diffracté dans une lunette et si on observe l'image focale donnée par les différentes zones du réseau (en isolant successivement chacune d'elles par un écran percé d'une fenêtre), on constate que l'image oscille quand on déplace l'écran devant le réseau : ceci prouve que le paramètre n'est pas constant dans toute l'étendue du réseau.

⁽¹⁾ Voir ALLEN, *Phil. mag.*, 3 (1902), p. 93 ; WOOD, *Phil. mag.*, 48 (1924), p. 497.

Finalement, on a choisi ainsi une zone d'environ 5 mm. de large dans l'étendue de laquelle l'image focale reste fixe ; la régularité de cette zone n'était d'ailleurs pas parfaite ; l'image de la fente du collimateur ne se faisait pas exactement au foyer pour tous les spectres. Pour en étudier le tracé on a eu recours à la méthode du moiré de Lord Rayleigh et Cornu (en utilisant une copie à la gélatine bichromatée) ; comme on pouvait s'y attendre, les franges de moiré n'étaient pas des droites parallèles.

La fig. 21 représente la disposition des franges suivant que la copie est placée dans le même sens que l'original ou non ; celle-ci est précisément la disposition imaginée et réalisée par un tracé à grande échelle par Cornu ⁽¹⁾. Ceci prouve



Fig. 21.

que, même dans la zone réduite en question, l'intervalle du réseau n'est pas rigoureusement constant et nous explique l'anomalie focale observée.

Pour mesurer l'intervalle fondamental du réseau dont la valeur donnée par le constructeur est 5 μ , on s'est basé sur les déviations des faisceaux diffractés.

Le réseau est placé sur la plateforme d'un goniomètre ⁽²⁾, il est disposé, par auto-collimation, normalement à l'axe de la lunette (la surface rayée du côté de celle-ci) ; l'axe du collimateur est ensuite rendu parallèle à celui de la lunette. On mesure alors l'écart angulaire 2θ des deux images spectrales du troisième ordre (la lumière utilisée était la lumière verte du mercure) ⁽³⁾. Si ε est l'intervalle du réseau, on a :

$$\varepsilon = \frac{3\lambda}{\sin \theta}$$

⁽¹⁾ Cornu, *Journ. de Phys.*, 2 (1893), p. 447.

⁽²⁾ Le goniomètre Jobin de l'Institut d'optique.

⁽³⁾ Le réseau était laissé une heure sur la plateforme à côté d'un thermomètre dont on notait la température.

l'erreur relative sur ε vaut :

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\Delta\theta}{\operatorname{tg} \theta},$$

$\Delta\theta$ étant l'erreur commise sur la mesure de l'angle θ . En exprimant $\Delta\theta$ en secondes on a :

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\pi}{180 \times 3600} \frac{\Delta\theta}{\operatorname{tg} \theta} \quad \text{ou sensiblement :} \quad \frac{10^{-4} \Delta\theta}{\operatorname{tg} \theta}$$

pour $\varepsilon = 5 \mu$, θ est voisin de 19° , $\operatorname{tg} \theta$ de 0,345.

Si le réseau était assez bon pour que l'angle 2θ puisse être mesuré à 5 sec. près, l'erreur relative sur ε serait égale à $\frac{10^{-4} 2,5}{2 \times 0,345}$ soit $4 \cdot 10^{-5}$, de sorte que si le réseau compte 5 000 traits, l'erreur commise sur la distance du premier au dernier ne serait que les $\frac{2}{10}$ de la valeur de l'intervalle du réseau.

Avec le réseau utilisé, la précision de la mesure ne pouvait atteindre la valeur admise plus haut, l'incertitude des lectures atteignait 20 sec. ; la moyenne des lectures a donné :

$$2\theta = 38^\circ 16' 4'' \quad \text{c'est-à-dire :} \quad \varepsilon = 9,152 \lambda.$$

λ étant la longueur d'onde de la lumière verte du mercure ou en exprimant l'intervalle en nombre d'anneaux verts comptés sur l'interféromètre :

$$\varepsilon = 18,304.$$

Il faut donc pouvoir déplacer le réseau ou la plaque photographique d'un multiple exact de cette quantité.

Dispositif utilisé pour le doublement photographique. — Dans ce dispositif le réseau est fixe, la plaque photographique peut être déplacée de quantités connues.

a) *Support de la plaque photographique.* — La plaque photographique doit se déplacer sous le réseau-objet, paral-

lèlement à elle-même, de distances rigoureusement déterminées ; pour cela elle est solidaire du chariot de l'interféromètre décrit au chapitre III.

La plaque, constituée par une lame de verre épais, travaillé optiquement, est placée sur une plaque épaisse d'aluminium SS' (fig. 23) ; elle est serrée entre une réglette fixe et une réglette mobile, de façon à reprendre toujours la même position sur son support ; la plaque d'aluminium est portée par le chariot de l'interféromètre par l'intermédiaire de trois vis calantes, une vis de bloquage permet d'immobiliser la plaque.

Le plan sensibilisé de la plaque doit être parallèle à la direction de glissement ; pour réaliser cette condition, on met la plaque argentée, mais non sensibilisée à la place qu'elle doit occuper, on dispose au-dessus un microscope qu'on met au point sur les rayures de la plaque et on agit sur les vis calantes de la plaque d'aluminium jusqu'à ce que, en faisant glisser le chariot sur sa glissière, les rayures ne cessent pas d'être nettes ; on serre ensuite la vis de bloquage.

Ainsi la surface sensible de la plaque glissera dans son propre plan.

b) *Support du réseau*. — D'après les conclusions de la théorie, on pourrait faire une copie de réseau sur une plaque photographique placée à quelque distance de l'original et obtenir ainsi un autre réseau jouissant de propriétés particulières ; cette méthode apporterait au dispositif une sérieuse simplification : la plaque photographique pouvant glisser librement sous le réseau, il suffirait de maintenir constante la distance entre la surface sensible et le réseau.

Je me suis proposé d'essayer d'obtenir une copie aussi semblable que possible à l'original, c'est-à-dire obtenue par le procédé du châssis-presse : le réseau doit donc pouvoir être appliqué parfaitement sur la plaque ; d'autre part il faut qu'on puisse écarter le réseau de la plaque d'une très petite quantité pour laisser glisser la plaque au-dessous de lui. La

figure 22 (I) montre comment le support du réseau a été réalisé tout d'abord :

Le réseau R ⁽¹⁾ est enchâssé et collé aux quatre angles dans une bonnette B de laiton assez épais (2 mm.) portée par une lame L de même épaisseur, cette dernière lame est fixée à

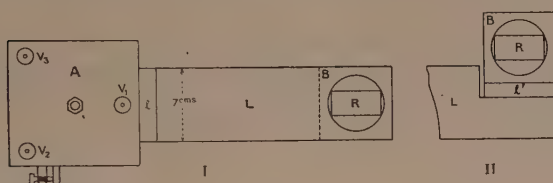


Fig. 22.

une mince feuille d'acier l , de même largeur, de 0 mm. 4 d'épaisseur, enfin cette feuille d'acier est solidaire d'un bloc A qui est maintenu rigoureusement immobile pendant l'expérience.

Grâce à l'élasticité de la lame l , on peut soulever légèrement le réseau pendant qu'on déplace la plaque; mais dans cette opération, il ne peut se produire aucun déplacement latéral du réseau parallèlement aux traits, ni aucune rotation de celui-ci; la surface de la plaque glissant dans son propre plan, le réseau reprend à chaque pose rigoureusement la même position.

Il faut pouvoir amener le plan du réseau à être parallèle à la surface de la plaque: pour effectuer ce réglage (voir fig. 23) le bloc A qui porte la lame L repose par l'intermédiaire des trois vis calantes V_1 , V_2 , V_3 sur un plateau A' en acier, fixé au bâti de l'appareil. Un fort ressort placé dans le socle maintient les trois vis en contact avec le plateau, un écrou de blocage permet d'immobiliser le tout quand le réglage est obtenu.

(¹) La partie utile du réseau est limitée par un diaphragme obtenu par pulvérisation d'argent.

A l'usage, le dispositif qui vient d'être décrit a rapidement montré un assez grave inconvénient : il est long et pénible d'obtenir le réglage du parallélisme des deux plans au moyen des trois vis calantes : le plan du réseau n'est en effet mobile qu'autour d'un axe et il faut que les positions des trois vis qui font basculer cet axe soient rigoureusement déterminées ;

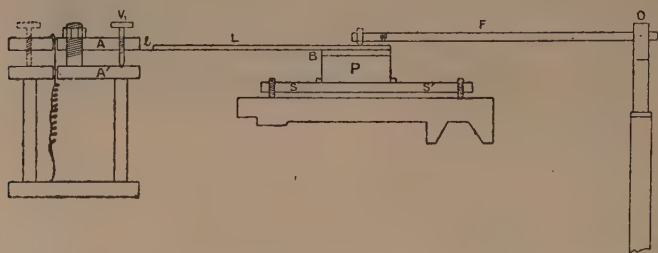


Fig. 23.

on augmentera donc la rapidité du réglage en rendant le réseau susceptible d'une seconde rotation autour d'un axe perpendiculaire au premier ; de la sorte, le plan du réseau, légèrement mobile autour de deux axes rectangulaires, pourra s'appliquer rigoureusement sur le plan de la plaque sans que, pour cela, les vis calantes soient dans la position exactement déterminée qu'il est difficile de réaliser.

Finalement, le support du réseau a donc été construit comme l'indique la figure 22 (II) ; la bonnette B, au lieu d'être portée directement par la lame L est fixée à celle-ci par l'intermédiaire d'une seconde lame L' élastique dont la grande dimension est, cette fois, parallèle aux traits du réseau. Cette lame ne permet pas non plus de dérèglement dans la position du réseau lorsque celui-ci est appliqué sur la plaque photographique. Enfin ajoutons que le bloc A est susceptible d'une légère rotation autour de V_1 de façon à régler l'orientation du réseau.

c) La pression qui applique le réseau sur la plaque est exer-

cée par le moyen d'une fourche F, celle-ci appuie sur la bonnette B par l'intermédiaire de vis réglables, la fourche est mobile autour d'un axe horizontal oo' constitué par une tige d'acier soudée à la fourche, en croix avec elle dont les extrémités forées en cône sont maintenues par des vis également coniques ; la fourche n'a donc aucun jeu transversal et reprend toujours la même position ; l'orientation et la hauteur de l'axe oo' sont réglables. Les extrémités des vis qui appuient sur la bonnette ont été arrondies et polies pour que la pression soit bien normale à la surface d'appui ; celle-ci est exercée par des poids, suspendus à la fourche, variant de 500 g. à 2 kg. ; en déplaçant le crochet de suspension on peut graduer à volonté la pression. Enfin, quand cela est nécessaire la fourche peut être légèrement soulevée au moyen d'un fil passant sur une poulie et portant un contre-poids.

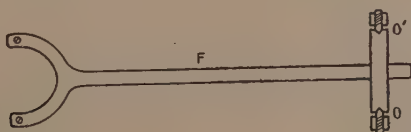


Fig. 24.

Réglages. — Pour faire le réglage de la position du porte-réseau, on dispose la plaque argentée, mais non sensibilisée, à la place qu'elle doit occuper, on agit sur les vis calantes V_1 , V_2 , V_3 de façon que le réseau soit, en l'absence de pression à une très faible distance, aussi constante que possible, de la plaque ; on utilise, pour cela, deux lampes à court filament, placées assez loin dans le plan de la plaque : aux quatre coins du réseau on doit voir passer une raie de lumière entre la plaque et le réseau.

On accroche ensuite à la fourche un poids assez faible (500 g. par exemple) et on règle la hauteur de l'axe, ainsi que la position des vis d'appui de façon que la pression soit bien

symétriquement exercée sur la bonnette : les raies lumineuses doivent être toujours également visibles aux quatre coins du réseau.

On allume alors l'arc qui doit servir à la photographie et on observe les franges qui se produisent entre la lame argentée et le réseau en plaçant l'œil dans le cinquième ordre, par exemple. On agit sur les vis de réglage du porte-réseau et sur les vis calantes du support de la fourche jusqu'à ce qu'on obtienne la disparition des franges ; on serre alors lentement les vis de blocage et on s'assure que le réglage se conserve si on déplace le chariot sur la glissière.

Le réglage en orientation du réseau consiste à rendre les traits du réseau autant que possible normaux à la direction du déplacement de la plaque. Supposons que la normale aux traits du réseau fasse l'angle ε avec la direction de glissement, la translation qu'il faut faire subir à la plaque n'est plus l mais $\frac{l}{\cos.\varepsilon}$ ou $l \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{2} \right)$ comme l était de l'ordre de 5 mm., l'erreur commise en prenant l comme valeur de la translation est $5000 \frac{\varepsilon^2}{2}$, si ε ne dépasse pas $\frac{1}{100}$ cette erreur sera plus petite que $0\mu,25$.

Le réglage n'a donc pas besoin d'être réalisé avec une grande précision. On peut tout simplement prendre une photographie préliminaire sur une plaque où on a tracé la direction de glissement : celle-ci doit être parallèle à la ligne formée par les spectres d'une source ponctuelle.

Disposition générale des appareils et marche d'une expérience. — La figure 25 montre l'interféromètre L_2 équipé pour le doublement photographique, l'appareil est aligné avec l'interféromètre L_1 ainsi qu'il a été indiqué au chapitre III.

Entre les verres de la lame L_1 on établit une distance égale au multiple calculé de l'intervalle du réseau ; 1052 traits étaient compris dans la zone utile, mesurée au comparateur ;

la distance du premier trait au dernier était, comptée en anneaux verts : 19 256 à 4 unités près.

On règle l'interféromètre L_1 à cette distance ; ensuite on règle l'interféromètre L_2 , on amène les 2 lames au parallélisme.

A ce moment, la plaque est iodée et mise en place.

On agit alors sur la vis de l'interféromètre L_2 de façon à amener l'anneau blanc de superposition au centre du champ.

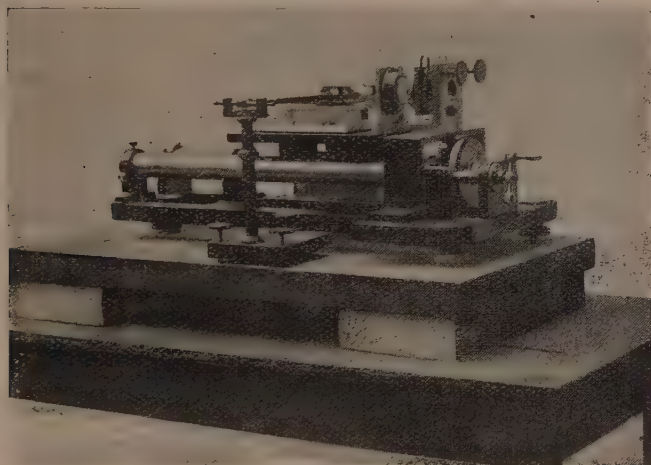


Fig. 25.

On fait descendre la fourche et on la lèste ; il ne reste plus qu'à prendre la photographie.

On relève la fourche, on soulève légèrement le réseau et on amène au centre du champ l'anneau de superposition du deuxième ordre, après s'être assuré que la distance des verres de L_1 n'a pas changé. On prend une nouvelle photographie. On développe à la vapeur de mercure et on fixe. On obtient ainsi un réseau deux fois plus étendu que l'original.

Examen du résultat obtenu. — On examine d'abord si les réseaux photographiques montrent des franges, s'il en est ainsi, c'est que le réglage du porte-réseau était défectueux, l'épreuve est à rejeter.

Supposons qu'il n'y ait pas de franges visibles; si l'intervalle du réseau était connu sans incertitude (et si tous les réglages avaient été bien effectués) les deux copies juxtaposées ne feraient qu'un seul réseau : le problème serait résolu.

Mais il n'en est pas ainsi et la distance dont il faut déplacer la plaque n'est connue qu'à 4 anneaux près. Il faut donc chercher une méthode qui permette de juger de la valeur du raccordement des deux tracés.

Deux sortes de méthodes peuvent être utilisées : celles qui se basent sur l'effet de diffraction du réseau total et celles qui étudient le tracé lui-même.

Supposons que les deux copies, au lieu d'être distantes d'une longueur égale à l'intervalle ϵ du réseau, soient séparées par la longueur ϵ' . Exposons le réseau à la lumière parallèle du collimateur et recevons dans la lunette le faisceau diffracté du premier ordre. Les vibrations provenant des deux copies ne sont pas en phase : leur différence de phase est : $2\pi \frac{\epsilon'}{\epsilon}$.

Si les deux éléments de réseau sont rigoureusement identiques, si leur support est une lame bien plane, enfin si le système collimateur-lunette ne donne pas lieu, dans l'éendue du réseau, à une différence de marche notable due à l'aberration, l'intensité au foyer sera, en appelant A^2 l'intensité due à un seul réseau :

$$A^2 \left(1 + \cos 2\pi \frac{\epsilon'}{\epsilon} \right).$$

Une mesure d'intensité nous permettrait de connaître la valeur de $\frac{\epsilon'}{\epsilon}$ c'est-à-dire la valeur du raccordement : il serait

facile de comparer les intensités des images fournies par deux zones égales juxtaposées prises d'abord toutes deux sur la même copie, puis découpées de chaque côté du raccord : la difficulté consiste à obtenir dans la photographie deux copies rigoureusement identiques en utilisant un arc électrique (celui-ci pourrait être avantageusement remplacé par une lampe électrique intense).

En particulier si $\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{2}$ l'intensité devrait être nulle, les deux ondes arrivant en opposition de phase ; réciproquement si on peut déterminer la distance telle qu'il y ait extinction, il suffira d'augmenter la distance trouvée de $\frac{\varepsilon}{2}$ pour arriver au raccord parfait.

Si on opère dans le deuxième ordre, les phénomènes sont les mêmes mais dans les formules l'intervalle fondamental ε doit être remplacé par $\frac{\varepsilon}{2}$.

Les méthodes qui étudient le tracé lui-même donnent plus simplement le résultat cherché : ces méthodes consistent à comparer le tracé de chacune des copies à un même tracé qui peut être celui de l'original (ou d'une de ses copies faite par exemple à la gélatine bichromatée).

Nous utiliserons les franges obtenues au moyen de deux réseaux de même paramètre ; ces franges ont comme période dans l'espace un multiple de l'intervalle fondamental du réseau.

Si en passant d'une copie à l'autre il y a une altération dans la périodicité du réseau, cette altération se reproduira dans la succession des franges ; si ces franges sont assez espacées, la méthode aura une grande sensibilité.

Parmi les franges que donnent deux réseaux, nous pourrions utiliser soit les franges de deux réseaux parallèles de Garbe et Crova ⁽¹⁾, soit les franges du moiré de Lord Rayleigh ⁽²⁾ et Cornu ⁽³⁾.

⁽¹⁾ *Ann. de Phys.*, 5^e série, t. 1, p. 407.

⁽²⁾ *Œuvres complètes*, I, p. 512.

⁽³⁾ *Journ. de Phys.*, 2 (1893), p. 447.

Les premières s'obtiennent en plaçant deux réseaux de façon que leurs plans soient parallèles, ainsi que leurs traits ; on obtient par transmission en lumière monochromatique des franges qui sont d'autant plus écartées que les réseaux sont plus près l'un de l'autre et dont l'équidistance est un multiple de ϵ . S'il y a une discontinuité dans le tracé de l'un des réseaux et si on donne à celui-ci dans son plan, des déplacements successifs égaux (par exemple égaux à l'intervalle fondamental) de manière à en utiliser progressivement toutes les zones, la régularité dans la succession des franges sera altérée après passage du raccord incorrect.

Cette méthode qui pourrait être employée pour mesurer le déplacement relatif de deux réseaux (au même titre qu'une méthode interférométrique) n'a pas été utilisée ici. C'est à la méthode du moiré qu'on s'est adressé. On sait que si l'on place l'un sur l'autre deux réseaux identiques, les faces striées en regard, de façon que leurs traits fassent un angle θ qui ne soit pas trop grand, on observe en les éclairant par une source quelconque et plaçant l'œil dans la lumière diffractée des franges noires rectilignes et équidistantes (tout

au moins si les réseaux sont correctement tracés) ; ces franges sont visibles soit par transmission, soit par réflexion et localisées sur la surface commune des réseaux ; elles sont d'autant plus serrées que l'ordre dans lequel on observe est plus élevé.

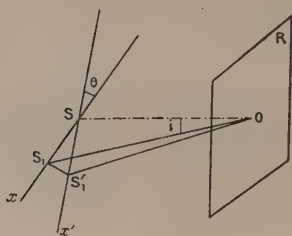


Fig. 26.

On peut se rendre compte par un calcul élémentaire des lois du phénomène.

Chacun des réseaux donne du point lumineux S (fig. 26) une succession d'images spectrales situées sur les droites SX, SX' qui font entre elles l'angle θ . Les deux sources S' et

S_1 du premier ordre, par exemple, interféreront sur le plan commun aux deux réseaux :

$$S_1 S_1' = 2 S S_1 \sin \frac{\theta}{2} = 2 O S_1 \sin i \sin \frac{\theta}{2} \text{ avec } \sin i = \frac{\lambda}{\varepsilon}$$

les franges seront parallèles à la bissectrice de l'angle $S_1 S S_1'$, c'est-à-dire de l'angle obtus formé par les traits des réseaux ; l'équidistance de ces franges est :

$$\lambda \frac{O S_1}{S_1 S_1'} = \frac{d}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \text{ ou très sensiblement } \frac{\varepsilon}{\theta}$$

c'est le résultat de la théorie géométrique.

Si on regarde dans le deuxième ordre, il faut prendre pour $\sin i$ la valeur $2 \frac{\lambda}{\varepsilon}$, l'équidistance des franges est deux fois plus petite et ainsi de suite.

L'équidistance est d'autant plus grande que θ est plus petit, mais il ne convient pas de prendre une trop petite valeur pour θ , sinon les franges s'élargissent et perdent toute netteté.

S'il y a en un point une discontinuité dans le tracé de l'un des réseaux, il y aura un décalage dans les franges de moiré en ce point : si, par exemple, il y a une erreur dans le tracé d'un demi-intervalle, les franges du premier ordre seront décalées d'une demi-période tandis que les franges du deuxième ordre seront régulièrement distribuées ; si le décalage est $\frac{\varepsilon}{3}$, les franges du premier et du deuxième ordre présentent une discontinuité, tandis que celles du troisième ordre ne sont pas modifiées.

L'observation des franges de moiré permet donc, non seulement de signaler une faute dans le raccordement de nos deux photographies, mais encore de connaître le sens et la grandeur de l'erreur commise.

On applique le réseau original (ou une copie à la gélatine

bichromatée) à cheval sur le raccord : si le raccordement est correct, les franges de moiré doivent se continuer de part et d'autre du raccord, quel que soit l'ordre dans lequel on regarde.

Ainsi, avec le réseau de Brunner qui nous a servi dans ces expériences, cette continuité était obtenue pour une distance égale à 19 259 anneaux verts.

Pour arriver à ce résultat il faut donc quelques tâtonnements qui sont considérablement abrégés par l'étude du moiré.

La figure 27 montre la disposition des franges de moiré quand la distance de raccordement est trop grande (I) ou trop petite (II).

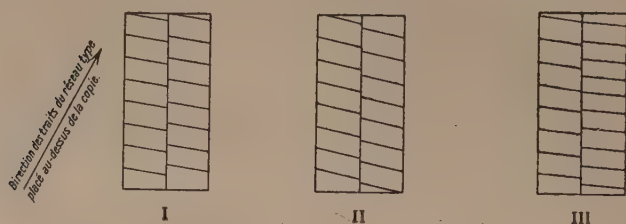


Fig. 27.

On peut en outre, se rendre compte si le porte-réseau a tourné (ce qui pourrait arriver par suite d'un serrage insuffisant de la vis de blocage) ; l'angle θ n'étant pas le même pour les deux épreuves, la période des franges de moiré n'est pas la même de part et d'autre du raccord et on observe des battements (fig. 27, III) ⁽¹⁾.

(1) On a vu page 63 l'utilisation du moiré dans l'étude du décalage qui se produit dans la photographie d'un réseau lorsqu'on écarte progressivement la plaque du réseau : les lignes de moiré se brisent lorsqu'elles rencontrent la frange noire visible dans le spectre même où on observe le moiré.

Précision nécessaire du raccordement. — Nous admettrons avec Lord Rayleigh qu'une différence de marche inférieure à $\frac{\lambda}{4}$ n'altère pas sensiblement le pouvoir de définition d'un instrument optique.

Il faut donc, dans le cas qui nous occupe, que chaque trait du réseau ne s'écarte pas, par rapport à sa position théorique de plus de $\frac{\lambda}{4}$ de l'intervalle fondamental si on observe dans le premier ordre, de $\frac{\lambda}{8}$ si on observe dans le deuxième ordre, etc.

Si on observe dans le quatrième ordre, il faudra que le raccordement soit fait à $\frac{\lambda}{16}$ de l'intervalle fondamental, c'est-à-dire à un anneau près en lumière verte, une pareille précision n'est pas impossible à obtenir et le moiré permet de vérifier si elle est réalisée en observant les franges dans le quatrième ordre.

Cas de plusieurs raccordements. — L'expérience précédente nous a permis de déterminer avec une grande approximation la distance des traits extrêmes du réseau ; on peut se proposer de juxtaposer non plus seulement deux copies, mais un plus grand nombre, le pouvoir séparateur étant proportionnel au nombre total de traits sera multiplié par le nombre de raccordements corrects effectués.

Il s'agit précisément de s'assurer de la correction des raccords.

Les franges de moiré qui nous ont permis de résoudre la question dans le cas du doublement d'un réseau sont insuffisantes dans le cas d'un grand nombre de juxtapositions. Si en effet on apprécie un décalage de $\frac{\lambda}{10}$ de frange dans l'examen du moiré de part et d'autre d'un raccord, on peut compter au plus sur 5 raccordements corrects. On a pu réaliser ainsi avec le réseau de Brunner la juxtaposition correcte de quatre photographies.

Il faut, pour aller plus loin, pouvoir comparer la position de l'élément extrême avec sa position théorique par rapport au premier.

L'étude du pouvoir séparateur permettrait, avec des raies convenablement choisies, de reconnaître si on atteint le pouvoir séparateur théorique, c'est-à-dire si tous les raccordements sont parfaitement corrects ; s'il n'en est pas ainsi on n'a aucune indication sur l'erreur commise.

Le réseau ainsi constitué d'éléments supposés parfaits, mais présentant une erreur constante de raccordement transforme une onde plane en une série d'ondes elles-mêmes planes mais présentant entre elles une petite différence de phase.

Pour étudier cet appareil on ne pourra utiliser une méthode donnant la courbure de l'onde (méthode de Foucault, méthode de la double fente de Cotton) l'erreur commise sur un raccord étant supposée très petite. Ainsi si on place la double fente tantôt sur un même élément, tantôt à cheval sur deux éléments consécutifs, le déplacement des franges observées est insensible.

Il faudra donc employer la méthode de Michelson et, par exemple, placer une fente sur l'élément central du réseau, la deuxième fente étant placée soit devant le premier élément, soit devant le dernier.

Supposons que l'erreur commise soit telle que le dernier élément soit décalé de $\frac{\varepsilon}{2}$ par rapport à sa position théorique ; si on observe dans le premier ordre, le système de franges obtenu au plan focal de la lunette se renversera lorsqu'on fera passer la fente mobile d'une position extrême à l'autre, les franges noires prenant la place des franges brillantes. Si on place la deuxième fente à une distance deux fois plus petite de part et d'autre de la fente centrale, les franges se déplaceront de $\frac{1}{4}$ d'interfrange : on aura donc ainsi le sens du décalage des tracés, donc celui de l'erreur commise.

Cette méthode exige, il est vrai, l'emploi d'un collimateur et d'un objectif sans défauts (ou tout au moins dont l'ensemble a été préalablement étudié). De plus la planéité de la lame photographique doit être telle qu'elle n'introduise pas de retard supplémentaire ⁽¹⁾.

Supposons ces conditions remplies, si on a un réseau fait d'éléments juxtaposés dont la distance de raccordement n'est pas déterminée avec assez de précision, on pourra en déplaçant la fente mobile symétriquement de part et d'autre de la fente centrale déterminer le nombre de raccords tel que l'erreur atteigne précisément la moitié de l'intervalle du réseau, puis on cherchera le sens de l'erreur commise ; une seule opération permettra ainsi de connaître la distance exacte de raccordement.

(1) La méthode demande naturellement les conditions de stabilité, d'uniformité de température qu'exige la méthode de Michelson.

CHAPITRE VI

Réseaux obtenus par photographie de franges d'interférence.

On a vu précédemment (Chap. IV, page 3) qu'un réseau quelconque pouvait être considéré comme formé de la superposition de réseaux « simples » ne donnant chacun qu'un seul ordre de spectres.

Peut-on réaliser un tracé qui se rapproche de celui d'un réseau « simple » ? Il faudrait pour cela que, d'une part l'amplitude de la lumière qui traverse le réseau variât sinusoïdalement et d'autre part, qu'on pût, tous les deux traits, produire, sans changer d'amplitude, une différence de phase de 90° avec les ondes voisines : ce dernier résultat pourrait être obtenu, tout au moins en théorie, au moyen d'un réseau à transparence sinusoïdale, en recouvrant un trait sur deux d'une couche transparente d'épaisseur convenable.

C'est à des essais de cette nature que se rapportent les expériences de Quincke ⁽¹⁾ et de Wood ⁽²⁾ sur les réseaux recouverts d'iodure d'argent ou formés de couches de gélatine.

On peut se contenter d'obtenir un réseau qui donne l'image centrale et les deux spectres du premier ordre ; un tel réseau évitant le recouvrement des spectres successifs, pourrait rendre des services dans l'étude des grandes longueurs d'onde.

(1) QUINCKE, *Ann. der Phys.* (1867).

(2) WOOD, *Phil. Mag.*, 45 (1898), p. 511.

Un tel réseau a été obtenu empiriquement par Wood ⁽¹⁾ au moyen d'un tracé particulier (échelettes) qui ne peut être fait pratiquement qu'à assez grande échelle.

On pourrait obtenir le même résultat à partir d'un réseau à traits gravés sur un support transparent, en le photographiant au moyen d'un objectif qui n'admettrait que les deux faisceaux diffractés du premier ordre par exemple, ceci revient du reste à photographier les franges d'interférence produites par deux sources.

Il serait également possible d'affaiblir et même de supprimer les spectres du deuxième ordre en reproduisant par photographie directe un réseau gravé, comme on l'a montré au chapitre IV ⁽²⁾ : il suffirait de placer la plaque sensible non plus au contact avec le réseau, mais à une distance convenable de celui-ci.

M. Cotton ⁽³⁾ a montré qu'on peut obtenir le tracé cherché par la méthode très générale de photographie de franges d'interférence. Il suffit, pour que le réseau obtenu satisfasse à la condition posée que l'amplitude de la lumière qui traverse le réseau (ou qui est réfléchi par lui) suive la même loi périodique que l'intensité de la lumière qui a produit la photographie.

L'intensité de la lumière qui forme les franges a une loi de la forme :

$$A^2 \left(1 + \cos 2\pi \frac{x}{\varepsilon} \right)$$

si l'amplitude de la lumière qui traverse le réseau conserve cette même forme, son équation exprimera précisément que le réseau obtenu ne donne qu'une image centrale et les deux spectres du premier ordre. C'est ce que l'expérience vérifie.

⁽¹⁾ WOOD, *Phil. mag.*, 20 (1910), p. 770 ; TROWBRIDGE et WOOD, *Phil. mag.*, 20 (1910), pp. 886 et 898.

⁽²⁾ Voir page 60.

⁽³⁾ COTTON, *Bulletin des Séances de la Société de Physique* (1901), 4^e Fasc., p. 38.

Des réseaux ont été obtenus par M. Cotton en photographiant les franges d'un prisme de Wollaston, la lumière employée était la radiation indigo du mercure, celle-ci polarisée par un nicol traversait le prisme puis, immédiatement, une lame mince de tourmaline au contact de laquelle était placée la plaque photographique.

Cette expérience faite avec des plaques Ilford Alpha donnait environ 3 cm. de surface rayée, à raison de 38 franges au millimètre : le réseau obtenu ne montre que les spectres du premier ordre.

Cette méthode, qui a l'intérêt de donner immédiatement une surface rayée d'étendue un peu grande a été reprise en employant un dispositif un peu différent. Le prisme est un prisme de spath dont l'arête est parallèle à l'axe du cristal et l'angle environ 15° ; l'analyseur est un nicol de grandes dimensions placé entre deux lentilles de façon que la face de sortie du prisme soit voisine du plan focal de la première lentille : de la sorte les rayons correspondant à un même point de la face de sortie du prisme forment à la traversée de l'analyseur un faisceau parallèle.

L'écran est placé au voisinage du plan focal de la deuxième lentille et convenablement orienté, le grandissement est voisin de 1. La lumière utilisée est toujours la radiation indigo du mercure séparé des radiations violettes par une cuve à sulfate de quinine, la plaque photographique est une plaque de verre argentée iodée et bromée. J'ai obtenu ainsi un réseau de 3 cm., ayant environ 100 traits au millimètre.

On peut aussi, comme l'a fait M. Cotton ⁽¹⁾ utiliser les ondes stationnaires produites par l'interférence d'une onde plane tombant normalement sur un miroir avec l'onde réfléchie par le miroir. Le dispositif est simple : l'onde plane est fournie par un collimateur disposé verticalement, le miroir est horizontal ; la plaque sensible est une plaque daguer-

(¹) COTTON, *loc. cit.*, p. 70.

rienne préparée sur une couche légère d'argent, elle repose d'un côté sur la surface du miroir, de l'autre sur une cale de verre d'environ 1 mm. d'épaisseur placée sur le miroir. On obtient sur la plaque des franges de Wiener dont la période ne dépend que de l'angle α de la plaque sensible avec le miroir (la radiation employée était toujours celle du mercure $\lambda = 0\mu,436$) l'intervalle du réseau est

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$$

Comme M. Cotton l'a montré, un tel réseau présente une particularité intéressante : utilisons le réseau par réflexion et éclairons-le par un faisceau parallèle de la lumière qui a servi à obtenir la photographie ; si l'onde plane incidente a la même direction par rapport à la plaque que celle qui tombait sur le miroir, c'est-à-dire si elle fait avec le réseau l'angle α , l'onde diffractée fera avec le réseau l'angle β tel que

$$\sin \alpha - \sin \beta = m\lambda$$

m étant le paramètre du réseau ($m = \frac{2 \sin \alpha}{\lambda}$), on aura donc $\beta = -\alpha$: l'un des faisceaux diffractés coïncide avec le faisceau incident, le réseau est au minimum de déviation pour l'onde incidente.

Cette propriété résulte d'une application d'un principe plus général qu'on pourrait appeler *principe de réciprocité* que nous vérifierons dans les cas suivants :

1° *Franges rectilignes quelconques.* — Celles-ci sont produites par l'interférence de deux faisceaux parallèles qui font entre eux l'angle 2α , les plans équiphases sont distants de $\frac{\lambda}{2 \sin \alpha}$, si on expose une plaque sensible normalement à ces plans, on obtient un réseau de franges rectilignes.

Si on éclaire maintenant le réseau fonctionnant comme réseau par réflexion, placé dans la position même où il était

pendant la photographie, au moyen de l'un des faisceaux qui a servi à l'obtenir, l'un des faisceaux diffractés coïncide avec le faisceau incident.

Si le réseau fonctionne par transmission, et si on l'éclaire encore par l'un des faisceaux qui a servi à la photographie, la diffraction redonne le deuxième faisceau qui concourait à la production des franges.

Ce principe de réciprocité peut être étendu à d'autres systèmes de franges.

2° *Franges circulaires.* — On peut obtenir des réseaux analogues à ceux de Soret en photographiant des anneaux d'interférence. Cotton ⁽¹⁾ a utilisé un dispositif analogue à celui de Wiener en remplaçant le miroir plan par la surface argentée d'une lentille.

Le tracé peut être considéré comme donné par l'interférence de deux sources S et S' dont l'une au moins est à distance finie, interférence produite sur un écran placé normalement à SS'; la position des franges noires ou brillantes s'obtient en écrivant que la différence de marche entre les ondes provenant de S et de S' varie de λ d'une frange à la suivante : c'est le même calcul, qui, le réseau une fois constitué, conduira à la position des foyers conjugués; si donc on place une source lumineuse en S, son image se fera en S'.

Remarquons, en outre, que les franges circulaires, si elles sont exactement sinusoïdales, ont les mêmes propriétés que les systèmes de franges rectilignes, c'est-à-dire que l'objectif zoné obtenu ne possédera qu'un seul système de foyers.

3° *Cas de franges quelconques.* — Le résultat obtenu s'étend au cas d'un système de franges produit par l'interférence de deux sources ponctuelles placées à distance finie. Soit A et B les deux sources, sur une plaque sensible plane on obtient un réseau à traits hyperboliques. Si on éclaire un pareil réseau par une source ponctuelle de même longueur

(1) COTTON, *loc. cit.*, p. 73.

d'onde que celle qui a donné la photographie, placée par rapport au réseau comme l'était le point A lors de la photographie, le réseau donnera par réflexion un faisceau diffracté coïncidant avec le faisceau incident, par transmission un faisceau diffracté de sommet B. En effet les chemins optiques de l'image à l'objet ne doivent différer que d'un nombre entier de longueurs d'onde : c'est précisément ce que donne le mode de construction du réseau.

Quelques conséquences curieuses peuvent être tirées de ce principe général ⁽¹⁾.

Si, dans le cas de l'interférence de deux ondes planes, on photographie les franges en prenant pour surfaces sensibles, non plus un seul plan, mais un nombre quelconque d'éléments de plans juxtaposés ou même une surface courbe, le réseau par réflexion ainsi obtenu diffracterait dans la direction incidente un faisceau parallèle occupant par rapport à lui la même position que l'un des faisceaux interférant lors de la photographie.

Si même, le collimateur qui a servi à obtenir le faisceau parallèle incident n'est pas parfait, la propriété de réciprocité n'est pas altérée à condition d'utiliser pour le réseau le même collimateur qui a servi pour la photographie.

En outre de ces propriétés de réciprocité, les réseaux obtenus par photographie de franges possèdent les propriétés particulières dues à la périodicité du tracé, c'est-à-dire qu'on observe un seul ordre de diffraction.

Remarquons encore une fois ici ⁽²⁾ que la structure du tracé dépend non seulement de la répartition de l'intensité de la lumière incidente, mais aussi du traitement qu'a subi la plaque. Par exemple, si on opère avec des plaques ordinaires à grains fins, un réseau de franges rectilignes ne donne bien par transmission que les spectres du premier ordre,

⁽¹⁾ COTTON, *id.*, p. 39.

⁽²⁾ Voir page 69.

mais si l'on affaiblit le cliché on fait réapparaître les spectres d'ordre supérieur.

Si on fait interférer non plus seulement deux faisceaux d'égale intensité, mais un plus grand nombre, l'intensité produite par l'interférence de ces faisceaux n'est plus sinusoïdale, les franges se rapprochent des franges fines de Fabry et Pérot ; le nombre des faisceaux diffractés fournis par le réseau photographique augmente : on retrouve ainsi la théorie de Porter ainsi que la méthode exposée plus haut qui permettait de tracer un réseau ayant le nombre que l'on veut de faisceaux diffractés.

Cette remarque trouvera son application lors de l'utilisation des plaques de Daguerre : on donnera à la couche sensible une épaisseur telle qu'elle paraisse noire lorsqu'on l'éclaire avec la lumière utilisée pour la photographie, les réflexions successives n'interviennent plus et en outre on sait que la sensibilité de la plaque est augmentée.

Production de réseaux de franges de grandes dimensions. —

Les franges sont généralement produites par l'interférence de deux faisceaux monochromatiques parallèles faisant entre eux un certain angle ω , l'équidistance des franges est

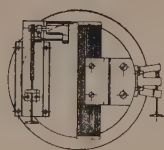
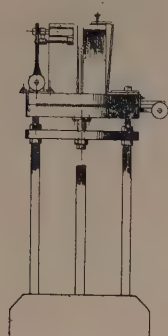
$$\frac{\lambda}{2 \sin \frac{\omega}{2}}, \text{ mais s'il est possible d'avoir d'assez larges fais-}$$

ceaux parallèles il est plus difficile de trouver une source monochromatique intense tout au moins dans la région de grande sensibilité des plaques de Daguerre.

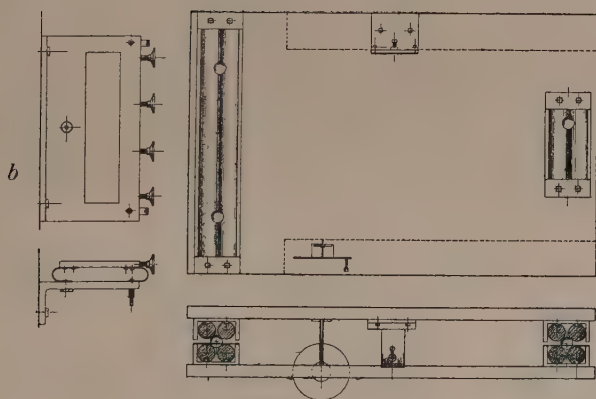
La source pratique est toujours la raie indigo du mercure, mais celle-ci n'est pas simple et ne peut donner un très grand nombre de franges nettes.

C'est pourquoi on s'est proposé de voir s'il était possible de juxtaposer un certain nombre d'éléments de réseaux sur la même plaque.

Une première méthode consiste à reproduire un réseau obtenu par photographie directe de franges sur une plaque



a



c

Fig. 28.

demi-argentée en juxtaposant sur la même plaque autant de photographies que possible, l'exécution ne diffère pas de celle donnée au chapitre précédent.

Une deuxième méthode consiste à photographier directement un certain nombre de franges sur une plaque photographique qu'on déplace ensuite d'un multiple exact de l'équidistance des franges pour prendre une deuxième photographie et ainsi de suite. C'est cette méthode qu'on s'est proposé d'éprouver dans les expériences qui suivent.

Les franges utilisées sont les franges d'un seul miroir : elles n'exigent qu'une seule surface plane et sont d'un réglage facile ; un faisceau parallèle tombe sur un miroir plan sous une incidence voisine de 90° , les surfaces équiphasés sont parallèles à la surface du miroir, la plaque photographique est placée contre l'arête postérieure du miroir, normalement à la surface réfléchissante.

Le miroir dont la surface a été travaillée est porté (voir fig. 28, a) par un support massif constitué par une embase de plomb dans laquelle sont vissées trois tiges filetées qui supportent une plateforme en acier serrée entre trois paires d'écrous vissés sur les tiges. Les tiges filetées sont reliées entre elles par des fils de fer, le tout est noyé dans du ciment. Sur la plateforme repose, par l'intermédiaire de 3 vis calantes, un disque de laiton épais, dont la face supérieure, soigneusement tournée, supporte un deuxième disque également passé au tour auquel est fixé le miroir, le deuxième disque peut tourner par rapport au premier, le mouvement de rotation est produit par une vis dont la pointe appuie sur le plateau mobile.

Pour obtenir une fixité suffisante du support, les deux disques peuvent être immobilisés séparément par un écrou, le disque inférieur est bloqué quand on a réglé les vis calantes, le disque supérieur l'est quand l'angle de rotation est amené à une valeur convenable.

Le faisceau parallèle est obtenu au moyen d'un collima-

teur dont l'objectif de 20 cm. environ de distance focale et de 40 mm. de diamètre, examiné par la méthode de Foucault, n'a montré qu'une aberration longitudinale de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre. Avec le nombre peu élevé de franges utilisées, l'erreur qui résulte de l'emploi de ce collimateur (erreur provenant soit de l'aberration, soit du réglage de la position de la fente) est négligeable. Le collimateur est, comme on le voit, de foyer assez court, il faut donc diminuer la largeur de la fente, mais la quantité de lumière qui tombe sur le miroir est augmentée, ce qui permet de diminuer la durée de pose.

Sur la fente du collimateur, on projette l'image de la source, celle-ci est un arc à mercure barométrique à tube de quartz, dont on peut modifier le régime à volonté en le refroidissant à l'air comprimé, on peut ainsi faire fonctionner l'arc à une pression de 10 cm. de mercure seulement, tout en obtenant un grand éclat; il faut remarquer cependant que cet éclat n'est pas constant, par suite de la condensation du mercure à l'extrémité de la colonne lumineuse. La lumière est filtrée par une cuve à sulfate acide de quinine. Le collimateur est placé horizontalement sur un pilier de la cave du laboratoire, la fente verticale; la plateforme du miroir est disposée horizontalement; on termine le réglage en agissant sur les vis calantes du miroir de manière à rendre l'image par réflexion parallèle à l'image directe de la fente.

Le nombre des franges nettes est déterminé par la largeur de la fente et limité par la complexité de la radiation qui traverse la cuve absorbante; la raie indigo du mercure est malheureusement loin d'être simple (11 raies distinctes d'après Nagaoka et Takamine) chaque raie donne son système de franges, il faut qu'à l'extrémité du champ, l'écart entre les diverses franges ne dépasse pas une petite fraction de l'interfrange $\frac{\lambda}{2 \sin \frac{\omega}{2}}$.

D'autre part, le nombre total des franges est limité par l'étendue de la partie commune aux faisceaux interférents, c'est-à-dire par la surface du miroir, celui-ci était une lame épaisse de longueur égale à 12 cm. On isolait environ 80 franges au moyen d'un écran constitué par une plaque mince d'acier (lame de rasoir Gillette) dont on amenait le tranchant, au moyen d'une vis de réglage, dans le plan des franges à la distance convenable.

Mesure de l'angle ω . — L'angle ω est l'angle du faisceau incident et du faisceau réfléchi, sa mesure précise permet d'abrégier les tâtonnements.

On le détermine en recevant les deux faisceaux dans une lunette à réticule mobile, mise au foyer pour la lumière indigo du mercure. Le faisceau direct donne dans la lunette une bonne image de la fente, l'image due au faisceau réfléchi est constituée par un système de franges de diffraction comprenant une frange centrale entourée de franges latérales qui ne sont pas exactement symétriques par rapport à la première; la diffraction provient, en effet, de la réflexion sur le miroir qui est incliné sur la direction du faisceau d'un angle $\alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{\omega}{2}$, voisin de 90° , les minima d'intensité ont lieu dans les directions telles que

$$l (\sin \beta - \sin \alpha) = K\lambda$$

étant la longueur utilisée du miroir.

Pour $\beta = \alpha$, le milieu de la frange centrale brillante correspond à la réflexion régulière.

En lumière bleue, le système de franges était assez serré pour qu'on puisse pointer le milieu de la frange centrale; si on voulait améliorer le pointé en utilisant les franges latérales, il y aurait lieu de tenir compte de la dissymétrie signalée, ce qui est possible au moyen d'une mesure approchée de l'angle ω .

Pendant le pointé, il faut veiller à ce que l'image de l'arc à mercure qui se déplace sans cesse autour de sa position moyenne, couvre bien toute la fente du collimateur, sinon on aurait un léger déplacement du système des franges.

La lunette utilisée avait une distance focale d'environ 60 cm. ; le fil du réticule était mû par une vis dont le tambour était divisé en 50 parties, le déplacement total du fil était d'environ 1 cm. 5. La lunette a été tarée au moyen du grand goniomètre du Laboratoire d'enseignement à la Sorbonne ; en la mettant à la place du collimateur et l'éclairant toujours en lumière indigo du mercure, on déplace le fil d'une extrémité à l'autre du peigne et on mesure l'angle correspondant à la totalité du peigne ainsi qu'aux dents extrêmes. La moyenne des mesures a donné pour l'angle total $1^{\circ}32'1''$ et pour une dent $2'47''$. Ce tarage effectué, la mesure de l'angle ω a été faite en déplaçant le fil du réticule, placé parallèlement à la fente, du centre de l'image directe au milieu de la tache centrale de diffraction ; la valeur trouvée était :

$1^{\circ}32'51''$; cet angle doit être maintenu rigoureusement fixe pendant toute la durée de l'expérience, aussi le collimateur et le miroir doivent-ils être installés d'une façon particulièrement stable : j'ai utilisé, pour les supporter, les grands piliers de la cave du laboratoire ; cependant, au cours des expériences, j'ai constaté une légère variation de l'angle ω que j'ai attribuée au séchage progressif du ciment.

Juxtaposition des photographies. — L'équidistance des franges est d'environ 16μ , la largeur du miroir permettait d'obtenir 1 mm. 3 de réseau, soit 80 franges environ. Cherchons combien d'éléments identiques de réseau nous pouvons espérer juxtaposer à coup sûr par photographie. Il faut, pour que le réseau soit acceptable, que la différence de phase entre les ondes provenant des extrémités soit inférieure à $\frac{\pi}{2}$.

L'équidistance est sensiblement $\delta = \frac{\lambda}{\omega}$, si $\Delta\omega$ est l'erreur

commise sur ω , $\Delta\delta$ sur δ , on a $\Delta\delta = \delta \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega}$, si on juxtapose n éléments de p franges chacun, l'erreur finale commise est $n \cdot p \cdot \delta \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega}$, cette erreur doit être inférieure à $\frac{\delta}{2}$. Si on admet que $\Delta\omega$ est de l'ordre de 2 secondes, on obtient pour le nombre total de franges np environ 1.300. On peut donc espérer juxtaposer 15 éléments de 80 franges, c'est-à-dire obtenir 2 cm. de surface striée.

Il faut, à chaque nouvelle pose, faire avancer la plaque, normalement au miroir de $80 \frac{\lambda}{2 \sin \frac{\omega}{2}}$. Pour cela, la plaque

photographique qui est une glace travaillée dont les bords ont été biseautés, est fixée sur un châssis vertical (Fig. 28 b) où elle est maintenue par des ressorts qui appuient sur les biseaux. Le châssis est porté par l'intermédiaire de vis calantes par un cadre fixé au chariot de l'interféromètre.

Il faut, de plus, que la plaque puisse être approchée jusqu'au contact du miroir. Pour cela l'interféromètre tout entier constituant le support de la plaque est porté sur une glissière normale à la sienne; cette glissière est constituée de la manière suivante (fig. 28 c) :

Deux couples de barres cylindriques en acier rectifié, maintenues dans deux fers à U, sont placés horizontalement, les directions de leurs axes sont sensiblement parallèles à la surface du miroir : l'ensemble constitue la partie fixe de la glissière, le premier couple porte deux billes d'acier, le deuxième, plus court, une seule bille; la partie mobile est formée par une forte planche d'ardoise découpée en forme de T qui porte à sa partie inférieure d'un côté, un couple de barres cylindriques maintenues également dans un fer à U et appuyant sur les deux billes de la partie fixe, de l'autre côté un plan d'acier qui repose sur la troisième bille.

On a ainsi une glissière à un seul paramètre qui permet de supporter un poids considérable, tout en présentant une très

faible résistance à la translation; ajoutons que les vis calantes de l'interféromètre sont placées au-dessus des billes de manière à éviter les flexions.

La position de la plateforme supérieure est réglée par une vis de faible pas qui s'engage dans un écrou porté par le bâti fixe et agit par sa pointe sur le bâti mobile; de l'autre côté agit également sur la partie mobile une lame élastique

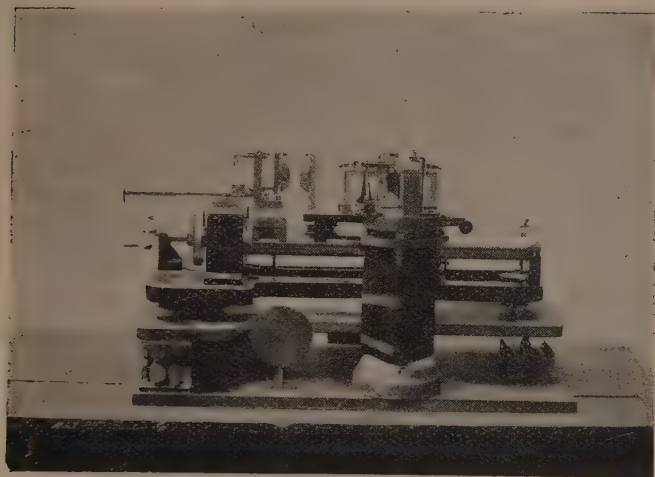


Fig. 29.

qui appuie la plateforme contre l'extrémité de la vis; la pression est réglable de manière qu'on puisse amener la plaque au contact avec le miroir aussi doucement qu'on le veut, une petite rotation du tambour de la vis suffit ensuite pour écarter la plaque du miroir.

La figure 29 montre la disposition de l'ensemble des appareils.

Réglages. — La plaque photographique argentée (mais non sensibilisée) est placée verticalement de façon que le plan de

sa surface soit parallèle à la direction de translation du chariot interférométrique ; on effectuera ce réglage exactement comme au chapitre précédent ⁽¹⁾.

La plaque est ensuite rendue parallèle à l'arête du miroir et normale à la surface de celui-ci en agissant sur le bâti et les vis calantes de l'interféromètre.

Pour réaliser le parallélisme de la plaque et de l'arête du miroir, on opérerait comme pour une fente de spectroscopie ; on disposait en arrière une source lumineuse et on rapprochait la plaque du miroir, en agissant sur la glissière inférieure, en réglant les vis calantes de l'interféromètre on doit obtenir que la lumière disparaisse en même temps dans toute la longueur de la fente.

L'interféromètre ainsi réglé, on effectue l'alignement avec l'interféromètre de comparaison, comme il a été expliqué ; l'appareil est prêt à fonctionner. Il ne reste plus qu'à régler l'interféromètre de comparaison à la distance calculée et à amener le second appareil à la superposition.

Pour effectuer jusqu'à 15 poses successives j'ai utilisé le double chariotage ou bien encore, j'ai opéré par superposition simple en augmentant chaque fois la distance sur l'interféromètre de comparaison de la quantité calculée.

On opérerait avec des plaques iodées au deuxième ordre, éteignant aussi bien que possible par réflexion la lumière indigo du mercure ; la durée de chaque pose était d'environ 5 minutes, l'image était révélée à la vapeur de mercure.

La principale difficulté était la variation d'éclat de l'arc à mercure qui produisait les franges, de sorte que, fréquemment, une ou plusieurs photographies venaient à manquer et l'essai devait être recommencé.

Résultats. — Le nombre des juxtapositions a varié de 2 à 15. La correction du raccordement qui dans un essai plus im-

(1) Voir p. 74.

portant, pourrait être examinée par la méthode du moiré⁽¹⁾, n'a pu, étant donné l'étroitesse de l'élément photographié, être étudiée par ce procédé; on s'est contenté, dans cet essai préliminaire, d'éprouver le pouvoir séparateur du réseau en utilisant soit les raies jaunes du mercure, distantes de 21 Å, soit les composantes de la raie D (6 Å).

Il est facile d'obtenir la séparation des raies du mercure. 4 copies suffisent pour cela, ce qui correspond presque au pouvoir séparateur théorique; ce résultat obtenu, on a cherché, en augmentant le nombre des juxtapositions, à obtenir la séparation des raies D; avec 15 clichés, cette séparation n'a pas été obtenue, j'attribue cet échec à la variation de l'angle ω pendant l'expérience.

(1) Dans des limites déterminées, voir p. 85.

CONCLUSION

Le présent travail étudie donc théoriquement et pratiquement la reproduction photographique d'un réseau tracé sur un support transparent ; l'emploi des plaques de Daguerre donne immédiatement des réseaux par réflexion et facilite nombre de réglages ; ces plaques permettent aussi d'obtenir des réseaux par transmission susceptibles d'être eux-mêmes reproduits.

On a montré qu'il est possible d'obtenir, grâce aux procédés interférométriques, tout au moins pour des réseaux à assez grand intervalle, une reproduction double (et même triple ou quadruple) de l'original, on a indiqué les méthodes susceptibles de vérifier l'exactitude des raccordements.

Les réseaux de franges sont particulièrement intéressants à obtenir à cause de la propriété qu'ils ont de ne donner qu'un seul ordre de spectre : ils sont tout indiqués dans l'étude des grandes longueurs d'onde.

Des essais ont été faits pour étudier la possibilité de juxtaposer un certain nombre de photographies de franges équidistantes données par l'interférence de faisceaux parallèles et obtenir ainsi de plus larges réseaux.

Le résultat de ces essais préliminaires est assez satisfaisant pour que l'on tente de reprendre ces expériences avec un matériel plus important. Au lieu de photographier un petit nombre de franges on cherchera à obtenir un élément aussi grand que le permet la raie bleue du mercure (3 à 4 cm. de franges au $\frac{1}{100}$ de mm. par exemple).

On ne s'attachera pas à déterminer exactement l'angle des faisceaux interférents pour en déduire l'interfrange, on se préoccupera seulement d'assurer la fixité absolue des supports ainsi que la constance de la température.

On commencera par obtenir une première épreuve sur argent mince qui servira de test pour l'examen des raccords successifs par la méthode du moiré.

On pourra facilement obtenir un réseau quintuple de l'élément c'est-à-dire un réseau de 15 à 20 cm. de surface rayée qui pourra certainement rendre des services dans l'étude de l'infra-rouge.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

**Absorption de la lumière
par les solutions aqueuses d'électrolytes.**

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 20 juin 1929.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

CH. MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

S. CHARLÉTY.

